جروب يلا نذاكر ثانوية عامة ٢٠٢١

الفيزياء

الجزء الخاص بالشرح



2021
الامتحان



الفيزياء

الجزء الخاص
بالشرح

3 الصف الثانوى

الامتحان 2021

إعداد
نخبة من خبراء التعليم



الدولية للطبع والنشر والتوزيع
الفجالة - القاهرة ت/ ٢٥٨٨٨٨٨٦

بطاقة فهرسة

فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية

إدارة الشئون الفنية

سلسلة الامتحان فى الفيزياء

إعداد/ نخبة من خبراء التعليم

ط١ – القاهرة : الدولية للطبع والنشر والتوزيع ، ٢٠٢١

(٢ مج) ؛ ٢٣ سم (سلسلة الامتحان) «للثانوية العامة»

المحتويات : (جـ١) كتاب الأسئلة والمسائل والإجابات.

(جـ٢) كتاب الشرح.

تدمك : ٣ – ٧٠١ – ٤٧٥ – ٩٧٧ – ٩٧٨

١– الفيزياء – تعليم وتدريس

٢– التعليم الثانوى

٥٣٠,٧

رقم الإيداع : ٩٩٩٠ / ٢٠٢٠



يمكنك الاطلاع على الأجزاء التى لم يتم دراستها من منهج الفصل الدراسى الثانى للعام السابق من خلال مسح QR Code المقابل.









يتضمن



- رسومات توضيحية ومخططات لعرض المادة العلمية بشكل مبسط.
- أمثلة محلولة بهدف تدريب الطالب على كيفية الحل والوصول إلى الناتج النهائى.

الجزء الخاص بالأسئلة والمسائل والإجابات

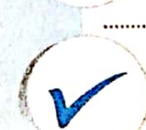
يتضمن



- أسئلة عامة على كل درس بنظام «Open book» وتشمل :
  - أسئلة اختيار من متعدد.
  - أسئلة مقالية.
  - مسائل.



- مقاطع ڤيديو لمشاهدة حلول بعض المسائل من خلال مسح «QR code» المتضمن.

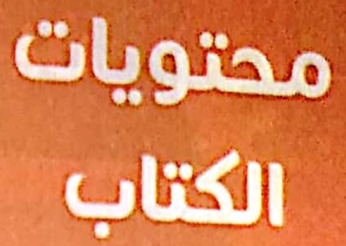


- إجابات أسئلة الكتاب.

قيم نفسك إلكترونيًا

- اختبار إلكترونى على كل درس،
حيث يمكنك بعد الانتهاء من الاختبار عرض تقرير مفصل بالإجابات الصحيحة والخاطئة.





محتويات الكتاب

الفصل 4 دوائر التيار المتردد.

الـدرس الأول : دوائر التيار المتردد.

الدرس الثانى : تابع دوائر التيار المتردد.

الدرس الثالث : • الدائرة المهتزة.

• دائرة الرنين.

الوحدة الثانية مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصل 5 ازدواجية الموجة والجسيم.

الـدرس الأول : • إشعاع الجسم الأسود.

• الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى.

الدرس الثانى : • ظاهرة كومتون.

• الطبيعة الموجية للجسيم.

• المجهر الإلكترونى.

الفصل 6 الأطياف الذرية.

الفصل 7 الليزر.

الفصل 8 الإلكترونيات الحديثة.

الـدرس الأول : • بللورة شبه الموصل.

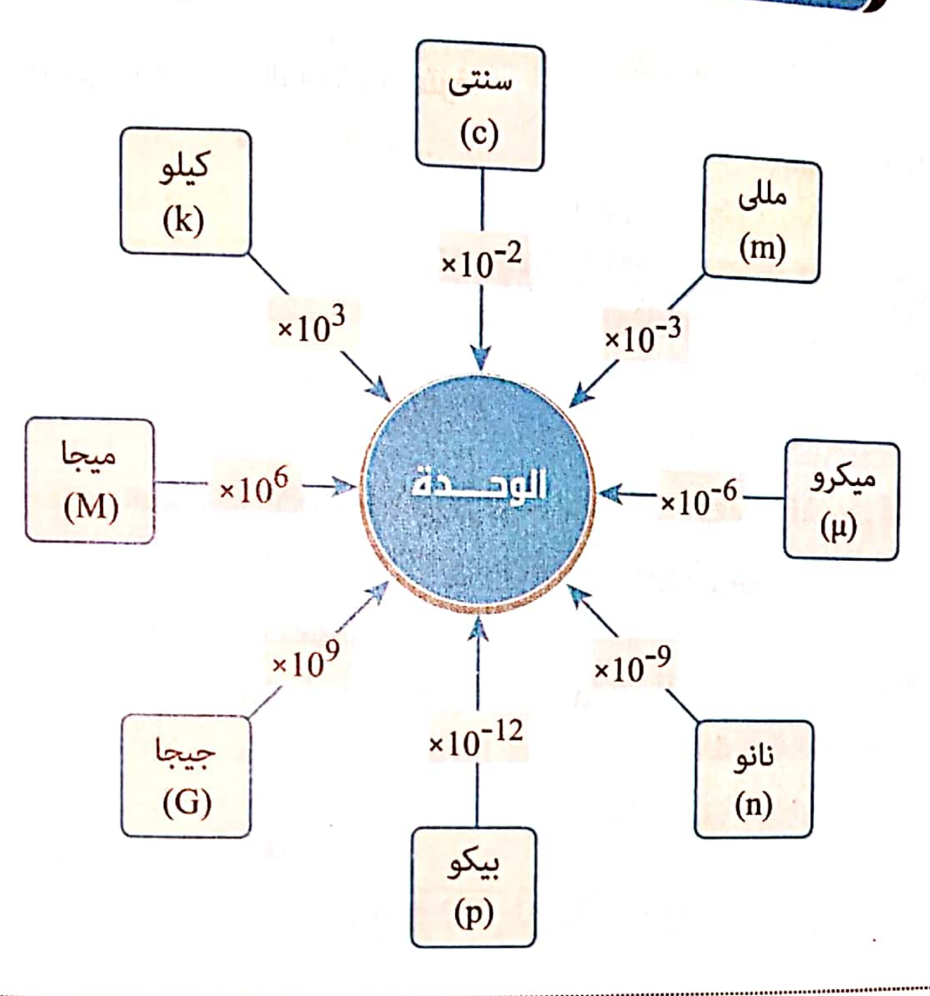
• الوصلة الثنائية.

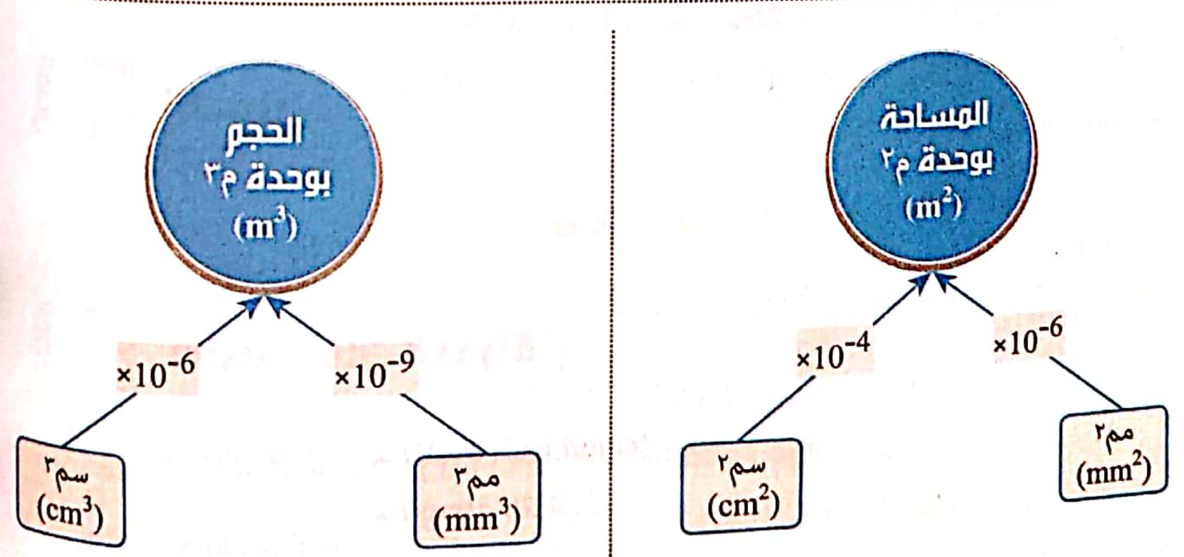
الدرس الثانى : • الترانزستور.

• الإلكترونيات التناظرية والرقمية.

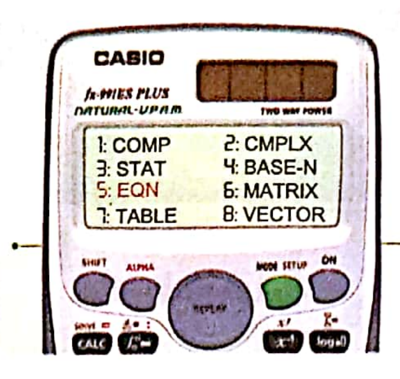
أساسيات فيزيائية هامة

تحويل الكسور والمضاعفات إلى الوحدات العملية

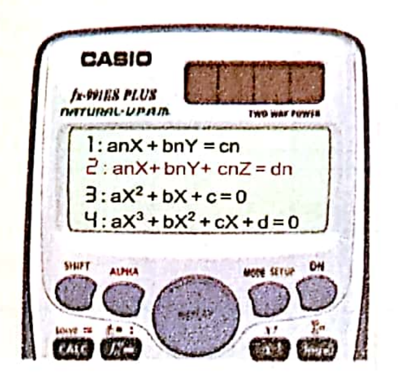




خطوات استخدام الآلة الحاسبة لحل معادلات من الدرجة الأولى فى ثلاثة مجاهيل

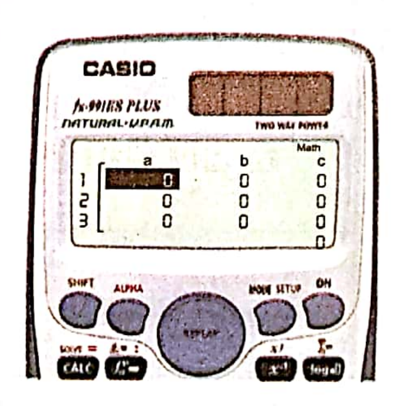


١ نضغط زر MODE فتظهر لنا الشاشة المقابلة.



٢ نضغط الرقم الدال على EQN لاختيار صيغة المعادلات فتظهر لنا الشاشة المقابلة بحيث يدل رقم الاختيار على صيغة المعادلات كالتالى :

1. معادلة من الدرجة الأولى فى مجهولين.
2. معادلة من الدرجة الأولى فى ثلاثة مجاهيل.
3. معادلة من الدرجة الثانية فى مجهول واحد.
4. معادلة من الدرجة الثالثة فى مجهول واحد.



٣ نضغط رقم 2 لاختيار صيغة المعادلات من الدرجة الأولى فى ثلاثة مجاهيل فتظهر لنا الشاشة المقابلة،نقوم بإدخال المعاملات الخاصة بكل مجهول على حدة بحيث نكتب من المعادلة الأولى قيمة a ثم نضغط = ثم قيمة b ونضغط = وكذلك بالنسبة لـ c ، d فتظهر لنا تلك البيانات بالتتابع فى السطر الأول على الشاشة المقابلة.

٤ نطبق الخطوة السابقة على المعادلتين الثانية والثالثة لإدخال باقى المعاملات.

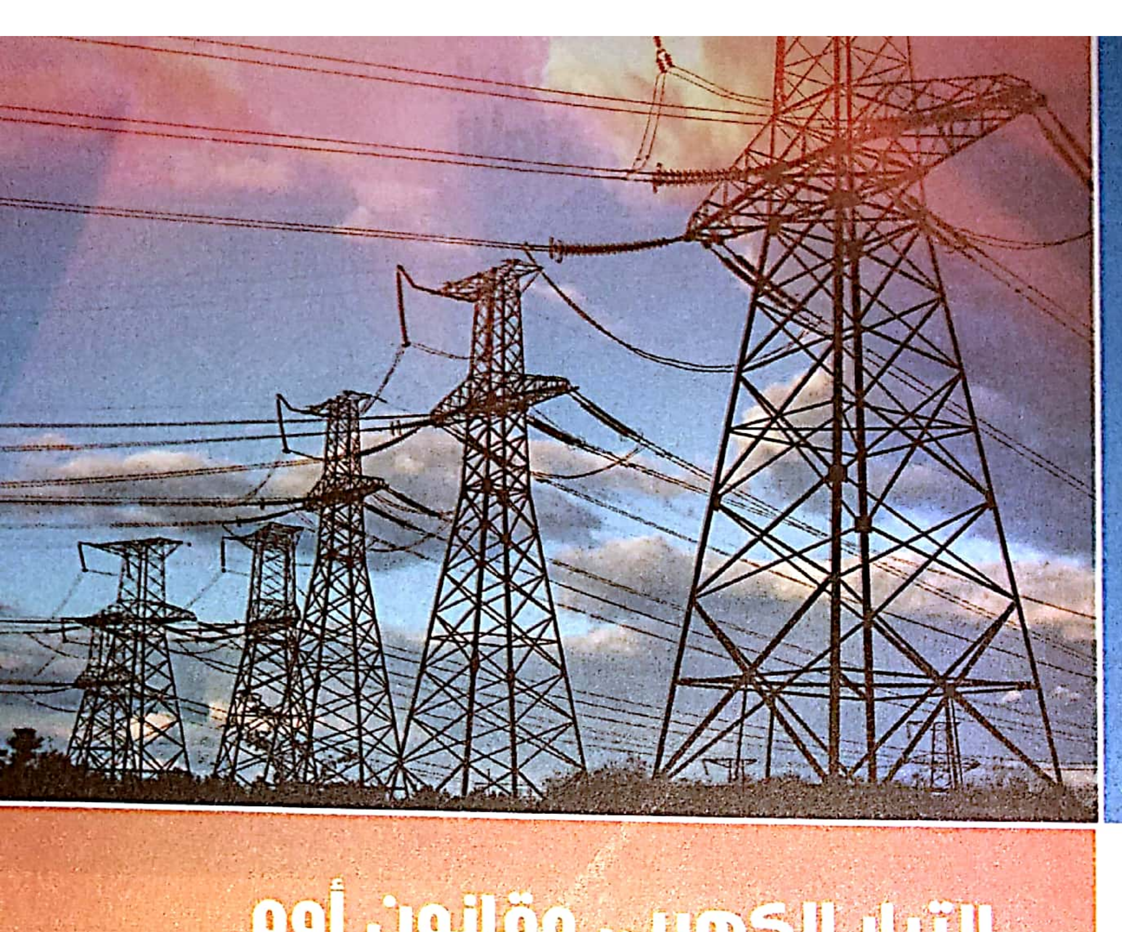
٥ لنحصل على قيم المجاهيل الثلاثة بعد إدخال جميع المعاملات نضغط = فتظهر لنا على الشاشة قيمة X وبالمثل نضغط = فتظهر لنا قيمة Y وكذلك بالنسبة لـ Z

الكميات الفيزيائية
الواردة بالمنهج ورموزها ووحدات قياسها

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
الشغل المبذول	W	جول = وات.ثانية = ڤولت.كولوم	$J = watt.s$ $= V.C$
كمية الكهربية (الشحنة الكهربية)	Q	كولوم = چول.ڤولت^-١^ = أمبير.ثانية = ڤولت.ثانية.أوم^-١^	$C = J.V^{-1}$ $= A.s$ $= V.s.\ \Omega^{-1}$
شدة التيار الكهربى	I	أمبير = كولوم.ثانية^-١^ = ڤولت.أوم^-١^	$A = C.s^{-1}$ $= V.\ \Omega^{-1}$
فرق الجهد	V	ڤولت = چول.كولوم^-١^ = أمبير.أوم	$V = J.C^{-1}$ $= A.\ \Omega$
المقاومة الكهربية لموصل	R	أوم = ڤولت.أمبير^-١^	$\Omega = V.A^{-1}$
طول سلك أو طول ملف حلزونى	ℓ	متر	m
مساحة وجه الملف	A	م^٢^	m^2
المقاومة النوعية	ρ_e	أوم.م = ڤولت.أمبير^-١^.م	$\Omega.m$ $= V.A^{-1}.m$
التوصيلية الكهربية	σ «سيجما»	أوم^-١^.م^-١^ = ڤولت^-١^. أمبير.م^-١^	$\Omega^{-1}.m^{-1}$ $= V^{-1}.A.m^{-1}$
القوة الدافعة الكهربية لبطارية	V_B	ڤولت	V
المقاومة الداخلية لبطارية	r	أوم	Ω
الفيض المغناطيسى	ϕ_m	وبر = نيوتن.م/أمبير = ڤولت.ثانية = تسلا.م^٢^	$weber = N.m/A$ $= V.s = T.m^2$
كثافة الفيض المغناطيسى	B	تسلا = نيوتن/ أمبير.م = وبر/م^٢^ = ڤولت.ثانية.م^-٢^	$tesla = N/A.m$ $= weber/m^2 = V.s.m^{-2}$

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
معامل النفاذية المغناطيسية	μ «ميو»	وبر/أمبير.متر = تسلا.م/أمبير	weber/A.m = T.m/A
عدد لفات ملف دائرى أو حلزونى	N	لفة	turn
عدد لفات ملف حلزونى لوحدة الأطوال	n	لفة/متر	turn/m
القوة المغناطيسية	F	نيوتن = كجم.م/ثانية٢	$N = kg.m/s^2$
عزم الازدواج المغناطيسى	τ «تاو»	نيوتن.متر=كجم.م٢/ثانية٢	$N.m = kg.m^2/s^2$
عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\lvert\vec{m}_d\rvert$	نيوتن.متر/تسلا = كجم.م٢/ثانية٢.تسلا = أمبير.م٢	N.m/T $= kg.m^2/s^2.T$ $= A.m^2$
مقاومة مجزئ التيار	R_s	أوم	Ω
مقاومة مضاعف الجهد	R_m	أوم	Ω
القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية	emf	ڤولت	V
معامل الحث المتبادل بين ملفين	M	هنرى = وبر/أمبير = تسلا.متر٢/أمبير	H = weber/A $= T.m^2/A$
معامل الحث الذاتى لملف	L	= ڤولت.ثانية/أمبير = أوم.ثانية	= V.s/A = Ω.s
السرعة الزاوية	ω «أوميجا»	راديان/ثانية	rad/s
التردد (عدد دورات الملف فى الثانية)	f	هيرتز = ثانية$^{-1}$	$Hz = s^{-1}$
القوة الدافعة الكهربية الفعالة	$(emf)_{eff}$	ڤولت	V
القيمة الفعالة للتيار المتردد	I_{eff}	أمبير	A
كفاءة المحول الكهربى	η	—	—
المفاعلة الحثية لملف	X_L	أوم	Ω
سعة المكثف	C	فاراد = كولوم/ڤولت	F = C/V
المفاعلة السعوية لمكثف	X_C	أوم	Ω
المعاوقة	Z	أوم	Ω

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
الطول الموجى عند أقصى شدة إشعاع	λ_m	متر	m
طاقة الفوتون	E	چول	J
التردد الحرج	υ_c	هيرتز = ثانية⁻١	$Hz = s^{-1}$
دالة الشغل لسطح	E_w	چول	J
كتلة الإلكترون	m_e	كجم	kg
شحنة الإلكترون	e	كولوم	C
معدل سقوط الفوتونات	ϕ_L	فوتون/ثانية	photon/s
ثابت بلانك	h	چول.ثانية = كجم.م٢.ثانية⁻١	$J.s$ $= kg.m^2.s^{-1}$
كمية الحركة الخطية	P_L	كجم.م/ثانية	kg.m/s
القوة المؤثرة من حزمة فوتونات	F	نيوتن	N
القدرة	P_w	وات = چول.ثانية⁻١ = أمبير٢.أوم = ڤولت.أمبير = ڤولت٢/أوم	$watt = J.s^{-1}$ $= A^2.\Omega$ $= V.A$ $= V^2/\Omega$
تركيز الإلكترونات الحرة	n	سم⁻٣	cm^{-3}
تركيز الفجوات	p	سم⁻٣	cm^{-3}
تركيز أيونات الشوائب المعطية	N_D^+	سم⁻٣	cm^{-3}
تركيز أيونات الشوائب المستقبلة	N_A^-	سم⁻٣	cm^{-3}
نسبة التوزيع	α_e	—	—
نسبة تكبير الترانزستور	β_e	—	—
تيار الباعث	I_E	أمبير	A
تيار المجمع	I_C	أمبير	A
تيار القاعدة	I_B	أمبير	A



الوحدة الأولى

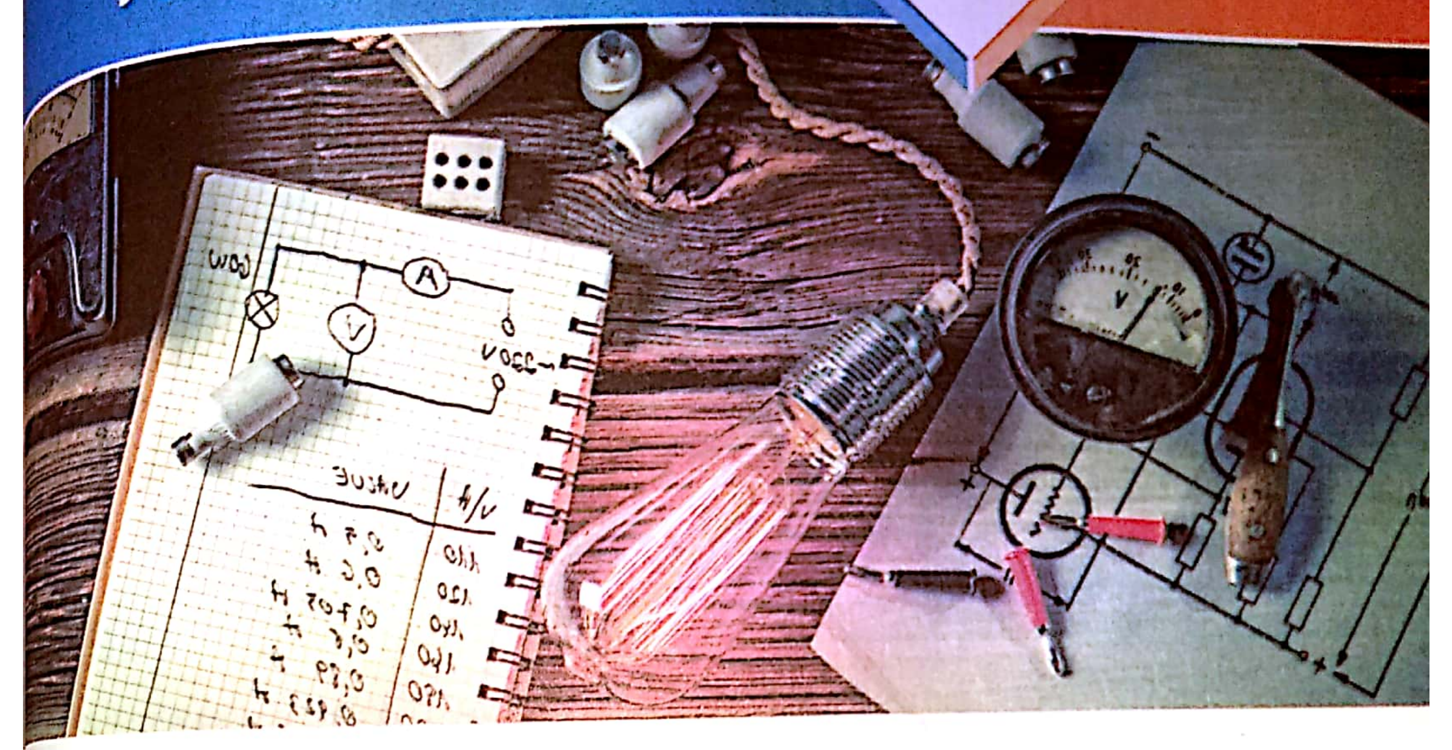
الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل 1

التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرشوف

الفصل 1 الدرس الأول

التيار الكهربى وقانون أوم



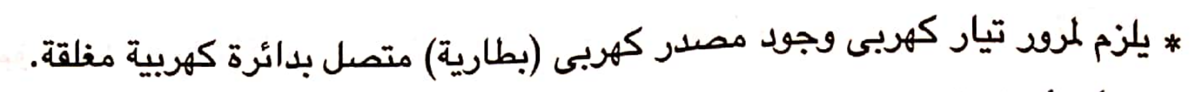
* لم تصبح الكهربية جزءًا أساسيًا من حياتنا اليومية إلا عندما توصل العلماء إلى كيفية التحكم فى حركة الشحنات الكهربية الحرة الموجودة فى المواد والتى تؤدى حركتها إلى مرور التيار الكهربى.

التيار الكهربى

فيض من الشحنات الكهربية تسرى خلال الموصلات.

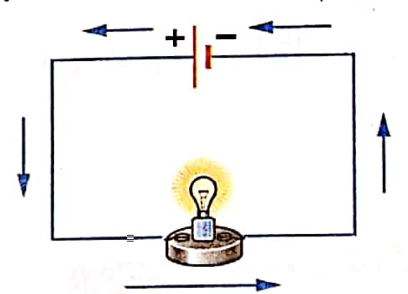
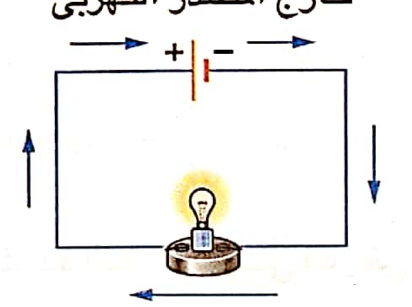
* **يمكن تقسيم المواد الصلبة من حيث قدرتها على التوصيل الكهربى إلى :**

مواد موصلة	أشباه موصلات	مواد عازلة
تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة فتسمح بمرور التيار الكهربى	مواد توصيليتها الكهربية وسط بين الموصلات والعازلات	لا تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة فلا تسمح بمرور التيار الكهربى
أمثلة		
– الفلزات مثل النحاس.	– السيليكون. – الجرمانيوم.	– اللافلزات مثل الكبريت. – الخشب. – المطاط.

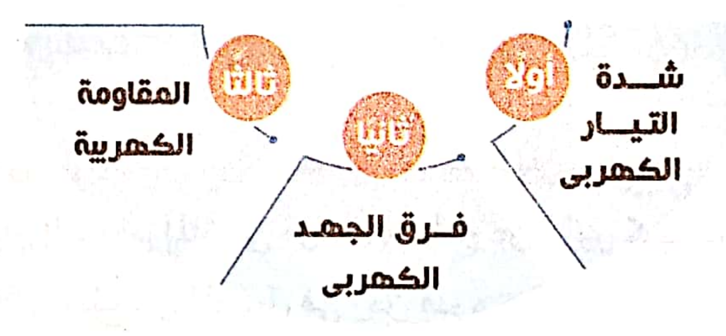


* يلزم لمرور تيار كهربى وجود مصدر كهربى (بطارية) متصل بدائرة كهربية مغلقة.

* **نظرًا لأن اكتشاف الكهربية التيارية سبق اكتشاف الإلكترونات، فقد اصطلح على أن يكون :**

الاتجاه التقليدى للتيار	**الاتجاه الفعلى للتيار**
اتجاه التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المصدر الكهربى (وهو الاتجاه المستخدم فى دراستنا لهذا المنهج)	اتجاه التيار فى نفس اتجاه حركة الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب خارج المصدر الكهربى
	

* **فيما يلى سنقوم بمراجعة بعض المفاهيم المتعلقة بالتيار الكهربى والتى سبق أن درستها، مثل :**



أولًا شدة التيار الكهربى

شدة التيار الكهربى (I)

تقدر بكمية الشحنة الكهربية المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية.

* تتعين شدة التيار الكهربى من العلاقة :

$$I = \frac{Q}{t}$$

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربية وتقاس بوحدة **الكولوم** (C)،

(t) الزمن ويقاس بوحدة **الثانية** (s).

* تقاس شدة التيار الكهربى بوحدة **الأمبير** (A) وتكافئ **كولوم/ثانية** (C/s).

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow A \text{ (أمبير)} = \frac{C \text{ (كولوم)}}{s \text{ (ثانية)}}$$

* مما سبق يمكن تعريف الأمبير والكولوم كما يلى :

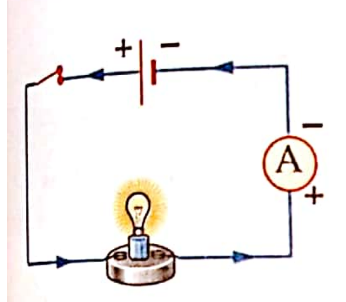
الأمبير

شدة التيار الناتج عن سريان كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية.

الكولوم

مقدار الشحنة الكهربية المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية عندما يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير.

* تقاس شدة التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية بجهاز الأميتر ويرمز له فى الدائرة الكهربية بالرمز Ⓐ ويوصل على التوالى فى الدائرة الكهربية كما بالشكل :



مثال

احسب شدة التيار الكهربى المار فى موصل والناتج عن مرور كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 15 C خلال مقطع من الموصل فى زمن قدره 3 s

الحل

$Q = 15\ C$ | $t = 3\ s$ | $I = ?$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{15}{3} = 5\ A$$

إرشاد

* يمكن حساب عدد الإلكترونات (N) المارة عبر مقطع معين من موصل من العلاقة : $N = \frac{Q}{e}$

حيث : (e) شحنة الإلكترون وتساوى $1.6 \times 10^{-19}\ C$



مثال

كم عدد الإلكترونات التى تمر عبر مقطع ما من موصل فى زمن قدره 1 s إذا كانت شدة التيار المار فى الموصل 20 A وشحنة الإلكترون 1.6×10^{-19} C ؟

الحل

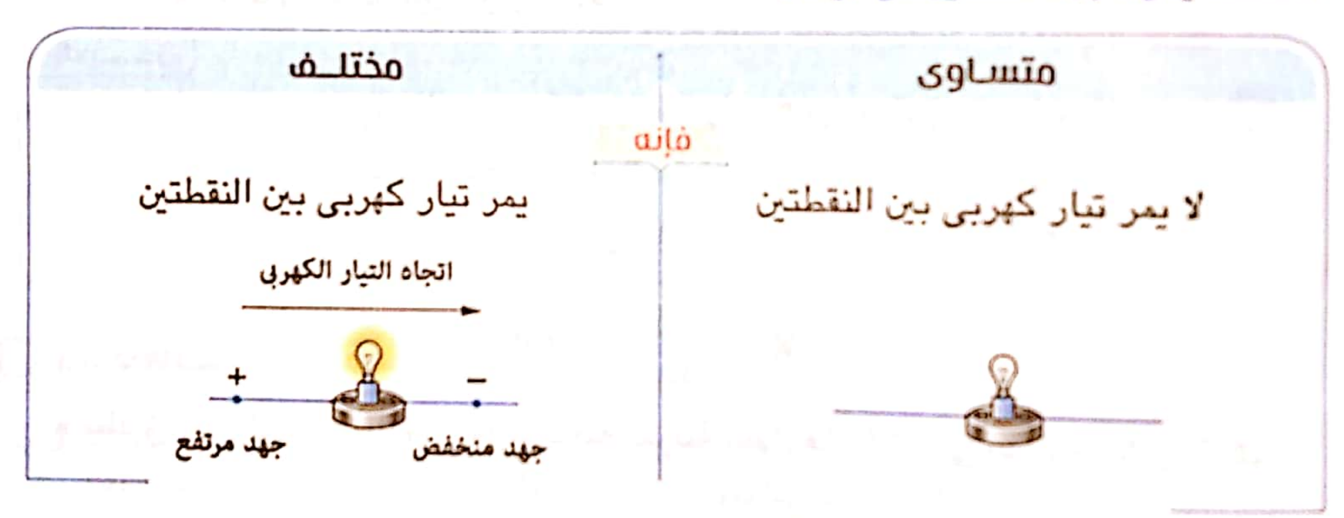
$t = 1$ s	$I = 20$ A	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C	$N = ?$

$$I = \frac{Q}{t} \quad , \quad Q = It = 20 \times 1 = 20\ C$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{20}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.25 \times 10^{20}\ \text{electrons}$$

ثانيا فرق الجهد الكهربى

* عندما يكون جهد نقطتين فى موصل :



فرق الجهد الكهربى بين نقطتين (V)

مقدار الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم بين النقطتين.

* يتعين فرق الجهد الكهربى (V) من العلاقة :

$$V = \frac{W}{Q}$$

حيث : (W) الشغل المبذول ويقاس بوحدة الجول (J).

(Q) كمية الكهربية وتقاس بوحدة الكولوم (C).

* يقاس فرق الجهد الكهربى بوحدة الفولت (V) وتكافئ جول/كولوم (J/C).

$$V = \frac{W}{Q} \Rightarrow V\ (\text{فولت}) = \frac{J\ (\text{جول})}{C\ (\text{كولوم})}$$

* مما سبق يمكن تعريف الڤولت كما يلى :

الڤولت

فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل مقداره 1 چول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم بين هاتين النقطتين.

* يقاس فرق الجهد الكهربى بجهاز الڤولتميتر ويرمز له فى الدائرة الكهربية بالرمز (V) ويوصل على التوازى بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما فى الدائرة الكهربية كما بالشكل :

مثال

إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 5 C بين طرفى موصل يساوى 20 J، احسب فرق الجهد بين طرفى الموصل.

الحل

$Q = 5\ C$ | $W = 20\ J$ | $V = ?$

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{20}{5} = 4\ V$$

ملاحظات

* يطلق على الشغل المبذول لنقل شحنة كهربية مقدارها 1 C فى الدائرة الكهربية كلها القوة الدافعة الكهربية للمصدر الكهربى (V_B) وتقاس بوحدة **الڤولت** (V).

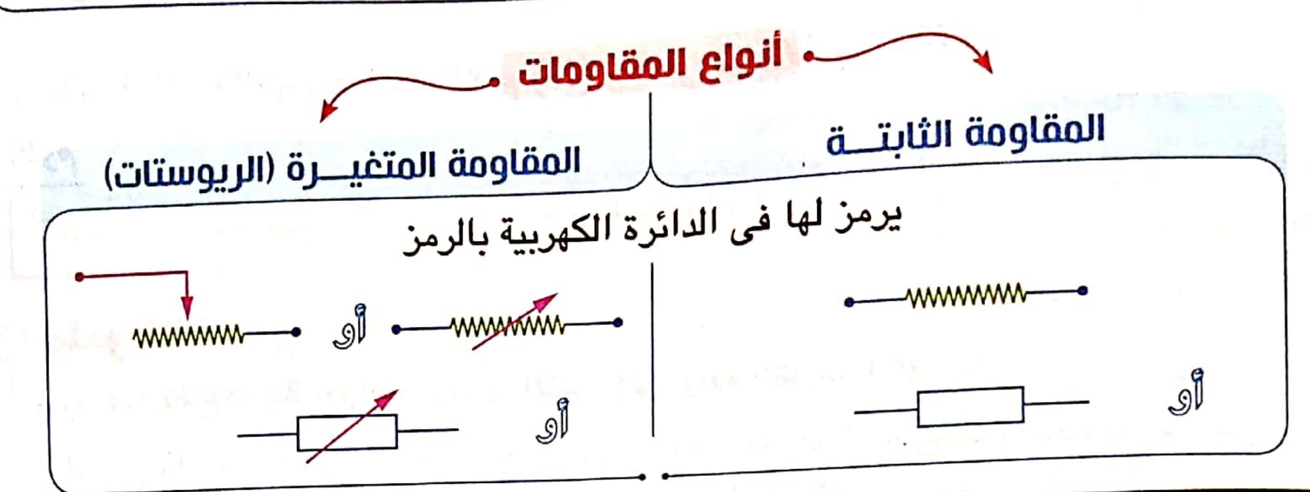
* يقوم المصدر الكهربى ببذل شغل لتحريك الإلكترونات الحرة الموجودة بالفعل فى موصلات الدائرة الكهربية.

ثالثاً المقاومة الكهربية

* عند مرور تيار كهربى فى موصل فإن هذا التيار يواجه ممانعة أو مقاومة لمروره ناتجة عن تصادم إلكترونات التيار الكهربى مع جزيئات الموصل ويطلق على هذه الممانعة المقاومة الكهربية.

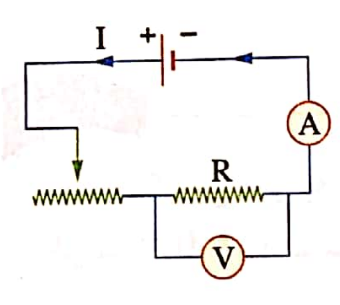
المقاومة الكهربية (R)

الممانعة التى يلقاها التيار الكهربى عند مروره فى موصل.



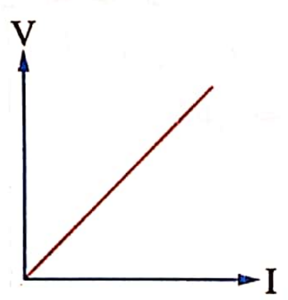
قانون أوم

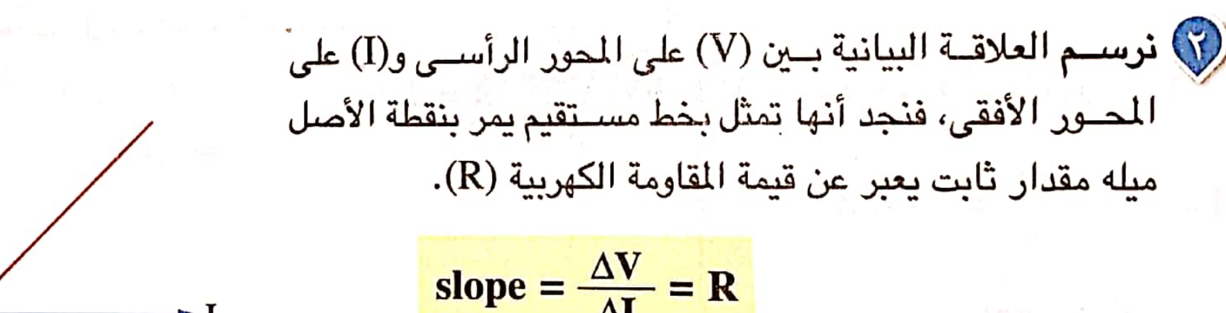
* فى الدائرة الموضحة بالشكل لإيجاد العلاقة بين فرق الجهد (V) بين طرفى المقاومة (R) وشدة التيار المار فيها (I) :



(١) نقوم بتغيير فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R) من خلال تغيير قيمة الجزء المأخوذ من الريوستات فنلاحظ تغير شدة التيار المار بالدائرة.

(٢) نرسم العلاقة البيانية بين (V) على المحور الرأسى و(I) على المحور الأفقى، فنجد أنها تمثل بخط مستقيم يمر بنقطة الأصل ميله مقدار ثابت يعبر عن قيمة المقاومة الكهربية (R).





$$\text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R$$

أى أن : شدة التيار المار فى المقاومة تتناسب طرديًا مع فرق الجهد الكهربى بين طرفيها عند ثبوت درجة الحرارة، وهو ما يعرف بقانون أوم

$$\therefore \quad V = IR$$

قانون أوم

عند ثبوت درجة حرارة موصل فإن شدة التيار المار فى الموصل تتناسب طرديًا مع فرق الجهد بين طرفيه.

* من قانون أوم يمكن تعريف المقاومة الكهربية كما يلى :

المقاومة الكهربية (R)

نسبة فرق الجهد بين طرفى موصل إلى شدة التيار المار فيه.

* تقاس المقاومة الكهربية بوحدة **الأوم** **(Ω)** وتكافئ **ڤولت/أمبير** **(V/A)**.

الأوم

مقاومة موصل يسمح بمرور تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V

ملحوظة

* **يؤدى ارتفاع درجة حرارة الموصل (الفلز) إلى زيادة المقاومة الكهربية،**

لأن ارتفاع درجة حرارة الموصل يعمل على زيادة سعة اهتزاز جزيئاته وزيادة سرعة اهتزاز جزيئاته وبالتالى زيادة معدل تصادم إلكترونات التيار الكهربى مع جزيئات الفلز فتزداد الممانعة لسريان الإلكترونات خلاله فتزداد المقاومة الكهربية للموصل (الفلز).

مثال

موصل كهربى تمر به شحنة كهربية مقدارها 3.6 C خلال دقيقة، إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 300 V، **احسب** مقاومته.

الحل

$Q = 3.6\ C$ | $t = 60\ s$ | $V = 300\ V$ | $R = ?$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3.6}{60} = 0.06\ A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{300}{0.06} = 5000\ \Omega$$

حساب المقاومة الكهربية لموصل

* **من خلال الملاحظات والتجارب العملية اتضح أن المقاومة الكهربية لموصل :**

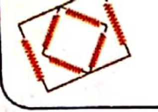
– تتناسب طرديًا مع طول الموصل : $R \propto l$

– تتناسب عكسيًا مع مساحة مقطع الموصل : $R \propto \frac{1}{A}$

$$\therefore R \propto \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \text{constant} \times \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \rho_e \frac{l}{A}$$



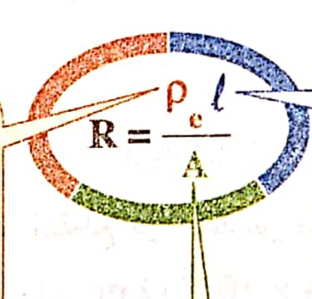
حيث : (ρ_e) المقاومة النوعية لمادة الموصل وهى كمية فيزيائية ثابتة للمادة الواحدة عند ثبوت درجة الحرارة.

وبالتالى يمكن استخدام الريوستات للتحكم فى شدة التيار المار فى الدائرة الكهربية، **لأن** تغير موضع الزالق يغير طول سلك الريوستات الذى يمر به التيار فتتغير المقاومة المأخوذة من الريوستات حيث $(R \propto \ell)$ فتتغير شدة التيار المار فى الدائرة حيث $(I \propto \frac{1}{R})$.

ملحوظة

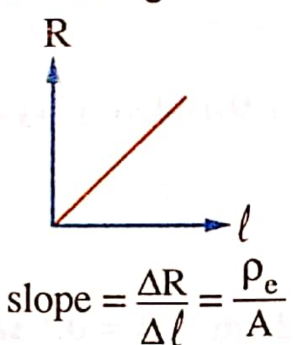
* عند دراسة العلاقة بين كمية فيزيائية وأحد العوامل المؤثرة عليها يلزم تثبيت العوامل الأخرى.

العوامل التى تتوقف عليها المقاومة الكهربية لموصل



١ طول الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا **طرديًا** مع طول الموصل.

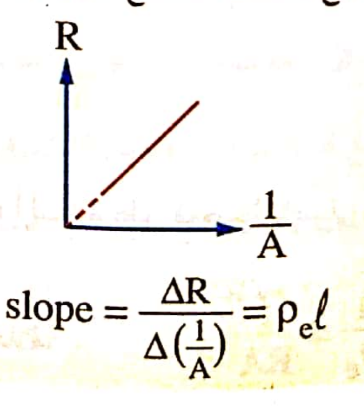


$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta \ell} = \frac{\rho_e}{A}$$

٢ المقاومة النوعية لمادة الموصل (نوع مادة الموصل ودرجة حرارته)

٣ مساحة مقطع الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا **عكسيًا** مع مساحة مقطع الموصل.

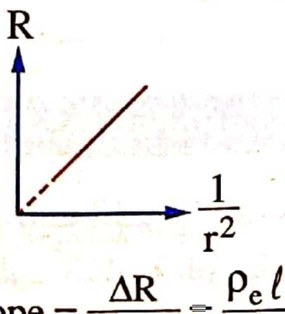


$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta (\frac{1}{A})} = \rho_e \ell$$

أو

نصف قطر الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا **عكسيًا** مع مربع نصف قطر الموصل.



$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta (\frac{1}{r^2})} = \frac{\rho_e \ell}{\pi}$$

المقاومة النوعية لمادة موصل

$\rho_e = \frac{RA}{l}$

* يمكن حساب المقاومة النوعية لمادة موصل من العلاقة :

* وبالتالى يمكن تعريف المقاومة النوعية لمادة موصل كما يلى :

المقاومة النوعية لمادة موصل (ρ_e)

تقدر بمقاومة موصل من تلك المادة طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة حرارة معينة.

* تقاس المقاومة النوعية بوحدة أوم. متر ($\Omega.m$).

العوامل التى تتوقف عليها المقاومة النوعية

1. نوع مادة الموصل.
2. درجة حرارة الموصل.

مثال

احسب نصف قطر سلك منتظم المقطع من النحاس طوله 25 m ومقاومته $0.1\ \Omega$
(علمًا بأن : المقاومة النوعية للنحاس $1.68 \times 10^{-8}\ \Omega.m$).


الحل

$l = 25\ m$ | $R = 0.1\ \Omega$ | $\rho_e = 1.68 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ | $r = ?$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l}{\pi r^2}$$

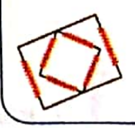
$$r = \sqrt{\frac{\rho_e l}{\pi R}} = \sqrt{\frac{1.68 \times 10^{-8} \times 25}{\frac{22}{7} \times 0.1}} = 1.16 \times 10^{-3}\ m$$

التوصيلية الكهربية لمادة موصل

* تعبـر التوصيليـة الكهربية لمادة موصل عن مدى قدرة هذه المـادة على توصيل التيار الكهربى وتساوى مقلوب المقاومة النوعية لمادة الموصل.

$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{l}{RA}$

* يمكن حساب التوصيلية الكهربية (σ) لمادة موصل من العلاقة :



* مما سبق يمكن تعريف التوصيلية الكهربية كما يلى :

التوصيلية الكهربية (σ)

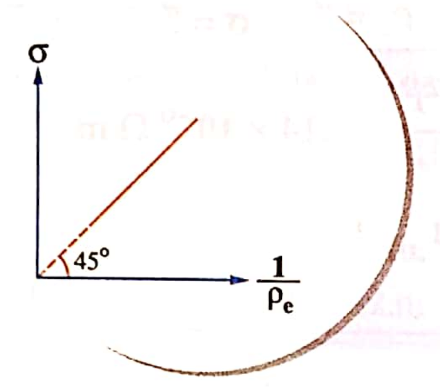
مقلوب المقاومة النوعية لمادة موصل.

أو مقلوب مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة حرارة معينة.

* تقاس التوصيلية الكهربية لمادة موصل بوحدة أوم$^{-1}$.متر$^{-1}$ ($\Omega^{-1}.m^{-1}$).

* التمثيل البيانى للعلاقة بين المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية عند رسمهما بنفس مقياس الرسم :

$$slope = \sigma \rho_e = 1$$



العوامل التى تتوقف عليها التوصيلية الكهربية لمادة موصل

(١) نوع مادة الموصل.

(٢) درجة حرارة الموصل.

ملاحظات

* **يعتبر كل من المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية للمادة خاصية فيزيائية مميزة لها،**

لأن كل منهما يتوقف فقط على نوع المادة عند درجة حرارة معينة.

* **عند ارتفاع درجة حرارة موصل :**

(١) تزداد المقاومة النوعية لمادته.

(٢) تقل التوصيلية الكهربية لمادته.

* **تصنع كابلات نقل التيار الكهربى من النحاس،**

لأن المقاومة النوعية للنحاس صغيرة وبالتالى تكون مقاومة الكابلات المصنوعة منه صغيرة حيث ($R \propto \rho_e$) وبالتالى يقل الفقد فى الطاقة الكهربية.

مثال ١

سلك طوله 50 m ونصف قطره 0.5 cm ومقاومته الكهربية 2 Ω، **أوجد :**

(أ) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(ب) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

الحل

$\ell = 50\ m$ | $r = 0.5\ cm$ | $R = 2\ \Omega$ | $\rho_e = ?$ | $\sigma = ?$

(أ)
$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{R(\pi r^2)}{\ell} = \frac{2 \times \frac{22}{7} \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{50} = \mathbf{3.14 \times 10^{-6}\ \Omega.m}$$

(ب)
$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{3.14 \times 10^{-6}} = \mathbf{3.18 \times 10^{5}\ \Omega^{-1}.m^{-1}}$$

مثال ٢

سلك طوله 20 m ومساحة مقطعه $0.2\ mm^2$ فإذا كان فرق الجهد بين طرفيه 10 V وشدة التيار المار فيه 0.5 A، **احسب :**

(أ) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(ب) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

الحل

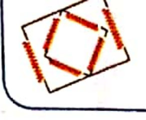
$\ell = 20\ m$ | $A = 0.2 \times 10^{-6}\ m^2$ | $V = 10\ V$

$I = 0.5\ A$ | $\rho_e = ?$ | $\sigma = ?$

(أ)
$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{0.5} = 20\ \Omega$$

$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{20 \times 0.2 \times 10^{-6}}{20} = \mathbf{2 \times 10^{-7}\ \Omega.m}$$

(ب)
$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{2 \times 10^{-7}} = \mathbf{5 \times 10^{6}\ \Omega^{-1}.m^{-1}}$$



إرشاد

* إذا تم لف السلك على شكل ملف دائرى عدد لفاته N ونصف قطره $r_{(ملف)}$:

$$\ell_{(سلك)} = 2\pi r_{(ملف)} N$$

مثال

سلك مساحة مقطعه $10^{-6}\ m^2$ ومقاومة مادته النوعية $10^{-7}\ \Omega.m$ ملفوف على شكل ملف دائرى نصف قطره $\frac{7}{22}$ m وعدد لفاته 100 لفة، وصل طرفا السلك بمصدر كهربى فكان فرق الجهد بين طرفيه 50 V، **احسب** شدة التيار المار بالسلك.

الحل

$A = 10^{-6}\ m^2$ | $\rho_e = 10^{-7}\ \Omega.m$ | $r_{(ملف)} = \frac{7}{22}\ m$

$N = 100$ | $V = 50\ V$ | $I = ?$

$$\ell_{(سلك)} = 2\pi r_{(ملف)} N$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{7}{22} \times 100 = 200\ m$$

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{10^{-7} \times 200}{10^{-6}} = 20\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{50}{20} = \mathbf{2.5\ A}$$

إرشاد

* لتعيين قيمة المقاومة R بدلالة الكتلة والحجم وكثافة المادة :

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{\rho_e \ell^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e \ell^2 \rho}{m}$$

(حيث : $V_{ol} = A\ell$ ، $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$)

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{\rho_e V_{ol}}{A^2} = \frac{\rho_e m}{\rho A^2}$$

مثال

سلك من النحاس طوله 50 cm وكثافة مادته $8600\ kg/m^3$ يمر به تيار كهربى فكانت مقاومته $1.5\ \Omega$، احسب كتلة السلك.

(علمًا بأن : المقاومة النوعية للنحاس = $1.79 \times 10^{-8}\ \Omega.m$)

الحل

$\rho_e = 1.79 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ | $R = 1.5\ \Omega$ | $\rho = 8600\ kg/m^3$ | $l = 50\ cm$

$m = ?$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e l^2 \rho}{m}$$

$$m = \frac{\rho_e l^2 \rho}{R} = \frac{1.79 \times 10^{-8} \times (50 \times 10^{-2})^2 \times 8600}{1.5}$$

$$= 2.57 \times 10^{-5}\ kg$$

إرشاد

* للمقارنة بين مقاومتى موصلين :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{(\rho_e)_1 l_1 A_2}{(\rho_e)_2 l_2 A_1} = \frac{(\rho_e)_1 l_1 r_2^2}{(\rho_e)_2 l_2 r_1^2} = \frac{(\rho_e)_1 \rho_1 l_1^2 m_2}{(\rho_e)_2 \rho_2 l_2^2 m_1}$$



مثال (١)

سلك طوله 30 m ومساحة مقطعه $0.5\ cm^2$ ومقاومته $20\ \Omega$،

كم تكون مقاومة سلك أخر من نفس المادة طوله 10 m ومساحة مقطعه $0.3\ cm^2$ ؟

الحل

$l_1 = 30\ m$	$A_1 = 0.5\ cm^2$	$R_1 = 20\ \Omega$
$l_2 = 10\ m$	$A_2 = 0.3\ cm^2$	$R_2 = ?$

$$\because R = \frac{\rho_e l}{A}$$

∵ السلك من نفس المادة.

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2 \quad , \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1}$$

$$\frac{20}{R_2} = \frac{30 \times 0.3}{10 \times 0.5}$$

$$R_2 = 11.11\ \Omega$$

مثال (٢)

سلكان من النحاس طول السلك الأول 10 cm وكتلته 0.1 kg وطول السلك الثانى 40 cm وكتلته 0.2 kg. احسب نسبة مقاومة السلك الأول إلى مقاومة السلك الثانى.

الحل

$l_1 = 10\ cm$	$m_1 = 0.1\ kg$	$\frac{R_1}{R_2} = ?$
$l_2 = 40\ cm$	$m_2 = 0.2\ kg$	

$$\because R = \frac{\rho_e l^2 \rho}{m}$$

∵ السلكان من نفس المادة.

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2 \quad , \quad \rho_1 = \rho_2$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1^2 m_2}{l_2^2 m_1} = \frac{10^2 \times 0.2}{40^2 \times 0.1} = \frac{1}{8}$$

مثال ٣

سلكان لهما نفس الطول أحدهما من النحاس والآخر من الحديد فرق الجهد بين طرفيهما متساوى ويمر بكل منهما نفس التيار، **احسب** النسبة بين نصفى قطريهما $\left(\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}}\right)$

(علمًا بأن : $(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ ، $(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$).

الحل

$l_{Cu} = l_{Fe}$ | $V_{Cu} = V_{Fe}$ | $I_{Cu} = I_{Fe}$ | $(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

$(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ | $\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = ?$

$\because R = \frac{V}{I}$ $\qquad \therefore R_{Cu} = R_{Fe}$

$$\left(\frac{\rho_e l}{\pi r^2}\right)_{Cu} = \left(\frac{\rho_e l}{\pi r^2}\right)_{Fe}$$

$$\frac{(\rho_e)_{Cu}}{r_{Cu}^2} = \frac{(\rho_e)_{Fe}}{r_{Fe}^2}$$

$$\frac{r_{Cu}^2}{r_{Fe}^2} = \frac{(\rho_e)_{Cu}}{(\rho_e)_{Fe}} = \frac{1.7 \times 10^{-8}}{9.7 \times 10^{-8}} = \frac{17}{97}$$

$$\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = \mathbf{0.42}$$

إرشاد

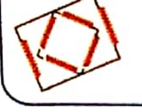
* إذا أُعيد تشكيل سلك بحيث يزداد طوله وتقل مساحة مقطعه فإن :

$(V_{ol})_1 = (V_{ol})_2 \qquad , \qquad A_1 l_1 = A_2 l_2$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$\because$ المقاومة النوعية ثابتة.

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1} = \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{A_2^2}{A_1^2} = \frac{r_2^4}{r_1^4}$$



مثال

سُحب سلك مقاومته $5\ \Omega$ فزاد طوله للضعف، **احسب** مقاومة السلك بعد السحب.

الحل

$\ell_2 = 2\ell_1$ | $R_1 = 5\ \Omega$ | $R_2 = ?$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1^2}{\ell_2^2}$$

$$\frac{5}{R_2} = \frac{\ell_1^2}{(2\ell_1)^2} = \frac{\ell_1^2}{4\ell_1^2} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore R_2 = 20\ \Omega$$

إرشاد

* للمقارنة بين المقاومة النوعية لمادتى موصلين مختلفين :

$$\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{R_1 A_1 \ell_2}{R_2 A_2 \ell_1} = \frac{R_1 r_1^2 \ell_2}{R_2 r_2^2 \ell_1}$$

مثال

سلكان من مادتين مختلفتين طول الأول ثلاث أمثال طول الثانى ونصف قطر الأول ثلث نصف قطر الثانى ومقاومة الأول تساوى مقاومة الثانى، **احسب** النسبة بين المقاومة النوعية للسلكين.

الحل

$\ell_1 = 3\ell_2$ | $r_1 = \frac{1}{3} r_2$ | $R_1 = R_2$ | $\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = ?$

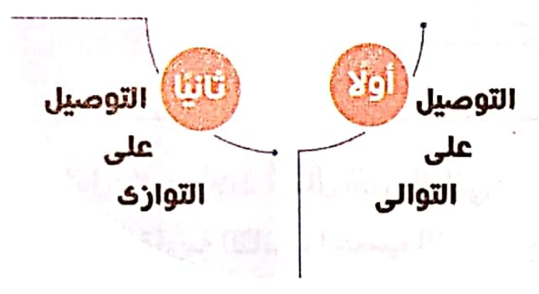
$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{R\pi r^2}{\ell}$$

$$\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{r_1^2 \ell_2}{r_2^2 \ell_1} = \frac{(\frac{1}{3} r_2)^2 \times \ell_2}{r_2^2 \times 3\ell_2} = \frac{1}{27}$$

أسئلة الدرس انظر كتاب الأسئلة

توصيل المقاومات

* يمكن توصيل عدة مقاومات فى دائرة كهربية بطريقتين هما :



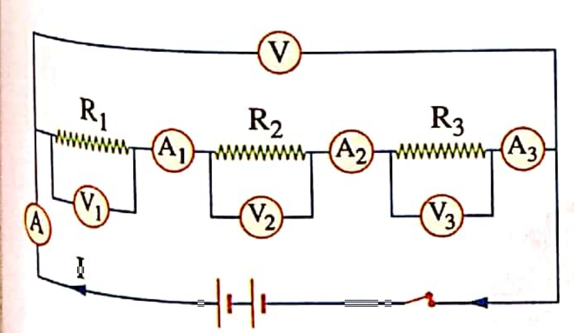
أولاً توصيل المقاومات على التوالى

الغرض منه :

الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أكبر من قيمة أكبر مقاومة فى المجموعة.

طريقة التوصيل :

توصل المقاومات بحيث تكون مسار واحد متصل أمام التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية كما هو موضح بالشكل :



شدة التيار الكهربى :

عند قياس شدة التيار الكهربى المار فى كل مقاومة نجد أنها متساوية وتساوى شدة التيار المار فى الدائرة : $I = I_1 = I_2 = I_3$.

فرق الجهد الكهربى :

عند قياس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة نجد أنه يساوى مجموع فروق الجهد بين طرفى المقاومات بالدائرة :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

المقاومة المكافئة $(\grave{R})$:

من قانون أوم :

$\because V = IR$

$\therefore V_1 = IR_1 \quad , \quad V_2 = IR_2 \quad , \quad V_3 = IR_3$

$\because V = V_1 + V_2 + V_3$

$\therefore I\grave{R} = IR_1 + IR_2 + IR_3 \qquad \therefore$ $\mathbf{\grave{R} = R_1 + R_2 + R_3}$

أى أن : المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوالى متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن : $\mathbf{\grave{R} = NR}$

* مما سبق نستنتج أن : مقاومة الموصل تزداد بزيادة طوله لأن زيادة طول الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوالى فتزداد مقاومته.

مثال

ثلاث مقاومات $25\ \Omega$, $70\ \Omega$, $85\ \Omega$ متصلة على التوالى مع بطارية القوة الدافعة الكهربية لها $45\ V$، احسب :

(أ) شدة التيار الكهربى المار فى الثلاث مقاومات. (ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل

$R_1 = 25\ \Omega$	$R_2 = 70\ \Omega$	$R_3 = 85\ \Omega$	$V_B = 45\ V$
$I = ?$	$V_1 = ?$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$

(أ) $\grave{R} = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180\ \Omega$

$\because$ الثلاث مقاومات متصلة على التوالى.

$\therefore$ شدة التيار المار فى كل منها = شدة التيار الكلى المار فى الدائرة

$$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{45}{180} = 0.25\ A$$

(ب) $V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25\ V$

$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5\ V \quad , \quad V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25\ V$

ثانيًا توصيل المقاومات على التوازى

الغرض منه :
الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أقل من قيمة أصغر مقاومة فى المجموعة.

طريقة التوصيل :
توصل المقاومات فى دائرة كهربية بحيث يكون لجميع المقاومات نفس البداية ونفس النهاية كما هو موضح بالشكل :

فرق الجهد الكهربى :
عند قياس فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة نجد أنه متساوى ويساوى فرق الجهد بين طرفى مجموعة المقاومات : $V = V_1 = V_2 = V_3$

شدة التيار الكهربى :
عند قياس شدة التيار الكلى المار فى الدائرة نجد أنها تساوى مجموع شدة التيارات المارة فى جميع المقاومات : $I_{(\text{الكلى})} = I_1 + I_2 + I_3$

ويلاحظ أن التيار الكهربى يتجزأ فى المقاومات إلى قيم تتناسب عكسيًا مع قيمة المقاومة أى يمر الجزء الأكبر من التيار فى المقاومة الأصغر.

المقاومة المكافئة (R') :
من قانون أوم : $\because I = \frac{V}{R}$

$\therefore I_1 = \frac{V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$

$\because I = I_1 + I_2 + I_3 \qquad \therefore \frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$

$$\therefore \frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

أى أن : مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوازى تساوى مجموع مقلوب المقاومات.

* إذا كان هناك مقاومتان فقط متصلتين على التوازى، فإن :

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوازى متساوية وقيمة كل منها R وعددها N، فإن :

$\frac{1}{R'} = \frac{N}{R} \qquad \therefore R' = \frac{R}{N}$

ملاحظات

* **تقل مقاومة موصل بزيادة مساحة مقطعه،**

حيث إن زيادة مساحة مقطع الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوازى فتقل مقاومته.

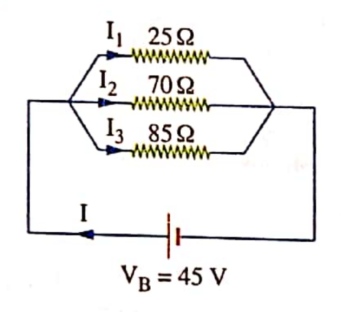
* **توصل الأجهزة المنزلية على التوازى،**

حتى يعمل كل جهاز على فرق جهد المصدر الكهربى وبالتالى يمكن تشغيل كل جهاز بمفرده فإذا فصل أو تلف أى جهاز لا يؤثر على الأجهزة الأخرى، كما أن المقاومة المكافئة لها جميعًا تصبح صغيرة جدًا فلا تضعف شدة التيار.

* **فى الدوائر الكهربية التى تحتوى على عدة مقاومات متصلة على التوازى تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى المصدر الكهربى، بينما يمكن استخدام أسلاك أقل سُمكًا عند طرفى كل مقاومة،**

لأن شدة التيار تكون أكبر ما يمكن عند مدخل ومخرج التيار فتستخدم أسلاك سميكة حتى تكون مقاومتها صغيرة فلا تسخن ولا تنصهر، بينما يتجزأ التيار فى كل مقاومة على حدة فيمكن استخدام أسلاك أقل سُمكًا عند طرفى كل مقاومة.

مثال ١



من الدائرة المقابلة، أوجد :

(أ) المقاومة الكلية.

(ب) شدة التيار فى كل مقاومة.

(جـ) شدة التيار الكلى.

الحل

$R_1 = 25\ \Omega$ | $R_2 = 70\ \Omega$ | $R_3 = 85\ \Omega$ | $V_B = 45\ V$ | $R' = ?$ | $I_1 = ?$ | $I_2 = ?$ | $I_3 = ?$ | $I = ?$

(أ)

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$R' = 15.14\ \Omega$$

(ب)

$$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8\ A$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.64\ A \quad , \quad I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.53\ A$$

(جـ)

حل آخر

$$I = \frac{V_B}{\bar{R}} = \frac{45}{15.14} = 2.97\ A$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 1.8 + 0.64 + 0.53 = 2.97\ A$$

مثال ٢

ثلاث مقاومات 20 ، 40 ، 60 أوم متصلة بمصدر تيار كهربى فإذا كان فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة هو 50 ، 20 ، 30 فولت على الترتيب، بيّن بالرسم كيفية توصيل هذه المقاومات، ثم احسب المقاومة الكلية للدائرة.

الحل

$R_1 = 20\ \Omega$ | $R_2 = 40\ \Omega$ | $R_3 = 60\ \Omega$ | $V_1 = 50\ V$ | $V_2 = 20\ V$ | $V_3 = 30\ V$ | $\bar{R} = ?$

$$I = \frac{V}{R}$$

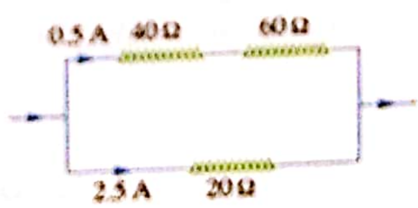
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{50}{20} = 2.5\ A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{20}{40} = 0.5\ A$$

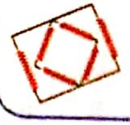
$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{30}{60} = 0.5\ A$$

$\because I_2 = I_3$ ، $\because V_1 = V_2 + V_3$

∴ المقاومتان 40 Ω ، 60 Ω متصلتان على التوالى والمقاومة 20 Ω متصلة معهما على التوازى، وتكون الدائرة كالآتى :



$$\bar{R} = \frac{(40 + 60) \times 20}{40 + 60 + 20} = 16.67\ \Omega$$



مثال (٣)

أوجد قيمة المقاومة المكافئة للدائرة الموضحة.

الحل

$$\hat{R}_1 = 3 + 3 + 3 = 9\ \Omega$$

$$\hat{R}_2 = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6\ \Omega$$

$$\hat{R}_3 = 4 + 6 + 5 = 15\ \Omega$$

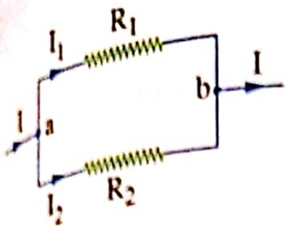
$$\hat{R}_4 = \frac{30 \times 15}{30 + 15} = 10\ \Omega$$

$$R_t = 5 + 10 + 10 = 25\ \Omega$$



إرشاد

* لحساب شدة تيار الفرع :



$$\grave{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = V_2 = V_{ab}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I\grave{R}$$

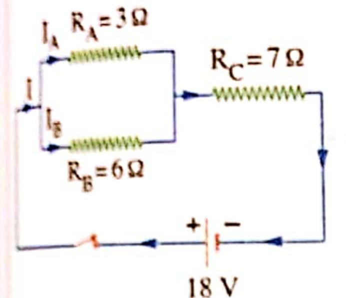
$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$$

مثال (١)

من الشكل المقابل، احسب :

(أ) المقاومة الكلية. (ب) شدة التيار المار فى الدائرة.

(جـ) شدة التيار المار فى كل من المقاومتين R_A ، R_B



الحل

$R_A = 3\ \Omega$ | $R_B = 6\ \Omega$ | $R_C = 7\ \Omega$ | $V_B = 18\ V$ | $\grave{R} = ?$ | $I = ?$ | $I_A = ?$ | $I_B = ?$

(أ)
$$\grave{R} = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} + R_C = \frac{3 \times 6}{3 + 6} + 7 = 2 + 7 = 9\ \Omega$$

(ب)
$$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{18}{9} = 2\ A$$

(جـ)
$$R_{AB} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\ \Omega$$

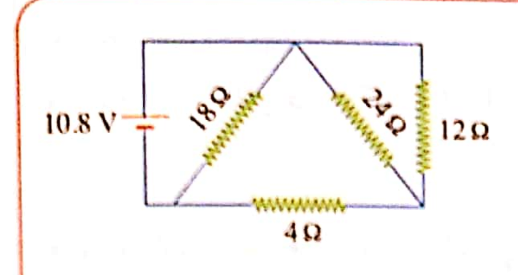
$$V_{AB} = IR_{AB} = 2 \times 2 = 4\ V$$

$$I_A = \frac{V_{AB}}{R_A} = \frac{4}{3} = 1.33\ A$$

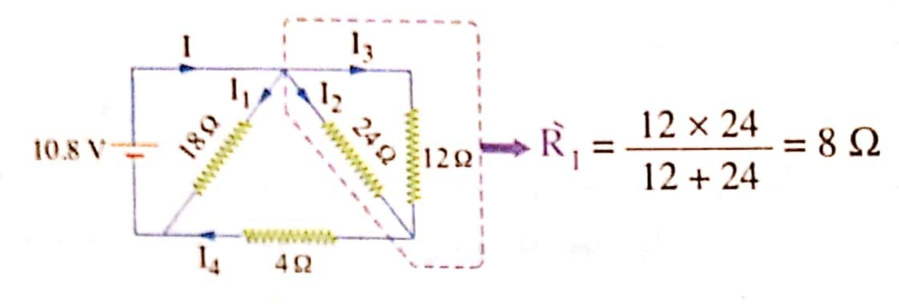
$$I_B = \frac{V_{AB}}{R_B} = \frac{4}{6} = 0.67\ A$$



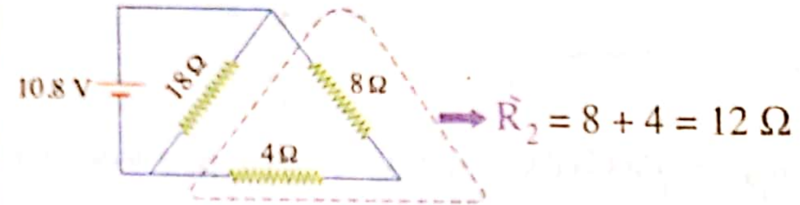
في الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل المقابل،
احسب شدة التيار المار فى كل مقاومة.



الحـــل



$$R'_1 = \frac{12 \times 24}{12 + 24} = 8\ \Omega$$



$$R'_2 = 8 + 4 = 12\ \Omega$$

$$R' = \frac{12 \times 18}{12 + 18} = 7.2\ \Omega$$

$$I = \frac{V_B}{R'} = \frac{10.8}{7.2} = 1.5\ A$$

* شدة التيار المار فى المقاومة 18 Ω :

$$I_1 = \frac{V_B}{18} = \frac{10.8}{18} = 0.6\ A$$

* شدة التيار المار فى المقاومة 4 Ω :

$$I = I_1 + I_4$$

$$1.5 = 0.6 + I_4$$

$$I_4 = 0.9\ A$$

* فرق الجهد بين طرفى كل من المقاومتين 12 Ω، 24 Ω (V_3) :

$$V_3 = I_4 R_1' = 0.9 \times 8 = 7.2\ V$$

* شدة التيار المار فى المقاومة 24 Ω :

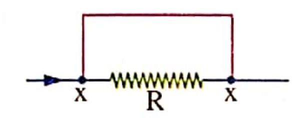
$$I_2 = \frac{V_3}{24} = \frac{7.2}{24} = \mathbf{0.3\ A}$$

* شدة التيار المار فى المقاومة 12 Ω :

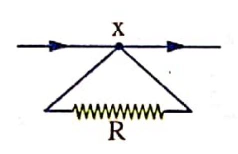
$$I_3 = \frac{V_3}{12} = \frac{7.2}{12} = \mathbf{0.6\ A}$$

إرشاد

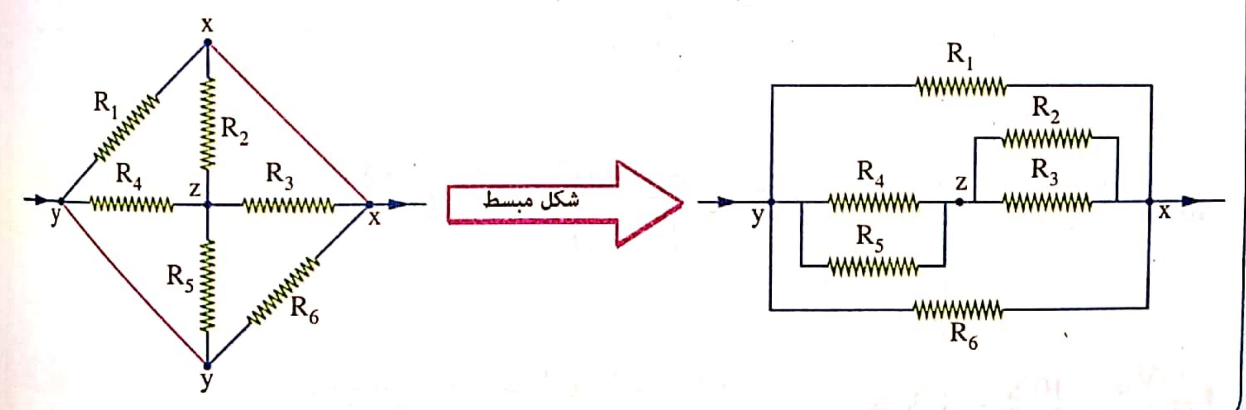
* فى حالة وجود مقاومة طرفاها متصلان بسلك توصيل تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة لعدم وجود فرق جهد بين طرفيها.







* فى حالة وجود سلك توصيل (عديم المقاومة) يتم اعتبار طرفى السلك نقطة واحدة.

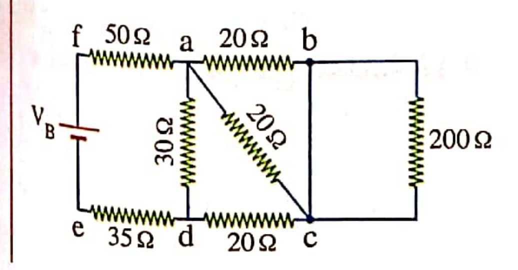


مثال ١

من الدائرة المقابلة، **احسب :**

(أ) المقاومة المكافئة.

(ب) شدة التيار الكلى المار فى الدائرة علمًا بأن $V_B = 100\ V$



الحـــل

(أ) لا يمر تيار فى المقاومة $200\ \Omega$ بينما يمر فى السلك bc لأن مقاومته مهملة وبذلك تصبح المقاومة $200\ \Omega$ ملغية ويكون شكل الدائرة كالتالى :

$$\acute{R}_1 = \frac{R}{N} = \frac{20}{2} = 10\ \Omega$$

$$\acute{R}_2 = 10 + 20 = 30\ \Omega$$

$$\acute{R}_3 = \frac{30}{2} = 15\ \Omega$$

$$\acute{R} = 15 + 50 + 35 = 100\ \Omega$$



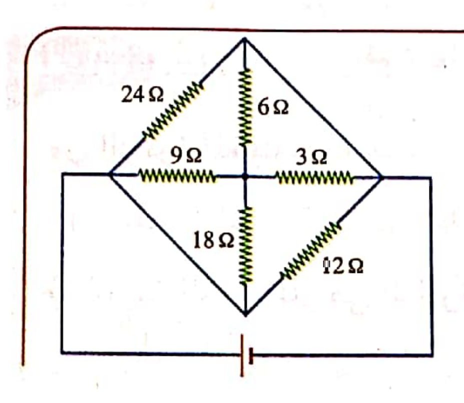
(ب)

$$I = \frac{V_B}{\acute{R}} = \frac{100}{100} = 1\ A$$

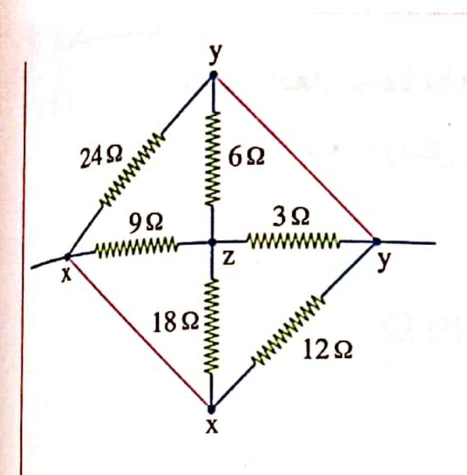
مثال ٢

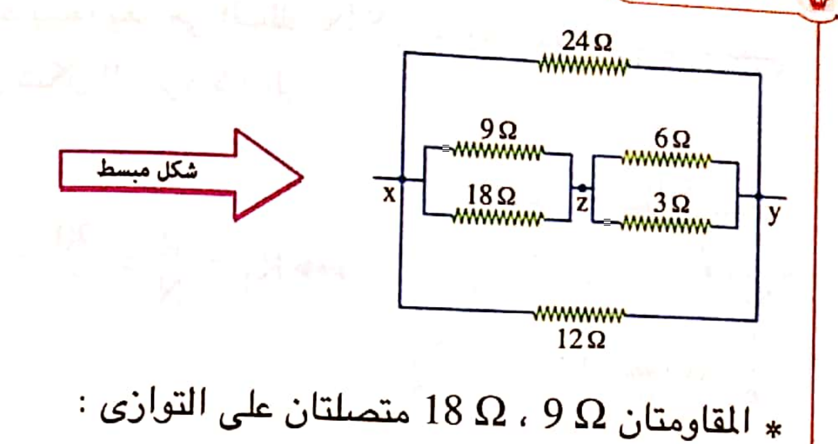
من الدائرة الموضحة،

احسب قيمة المقاومة المكافئة.



الحـل





* المقاومتان 9 Ω ، 18 Ω متصلتان على التوازى :

$$\grave{R}_1 = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6\ \Omega$$

* المقاومتان 6 Ω ، 3 Ω متصلتان على التوازى :

$$\grave{R}_2 = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2\ \Omega$$

* المقاومتان $\grave{R}_1$ ، $\grave{R}_2$ متصلتان على التوالى :

$$\grave{R}_3 = 6 + 2 = 8\ \Omega$$

* المقاومات 24 Ω ، 12 Ω ، $\grave{R}_3$ متصلة على التوازى :

$$\frac{1}{\grave{R}} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$$

$$\grave{R} = 4\ \Omega$$

إرشاد

* فى حالة تساوى الجهد بين طرفى مقاومـة مـا تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة :



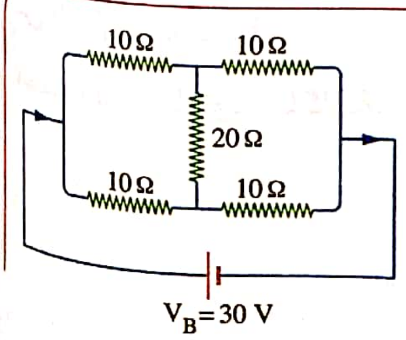
مثال

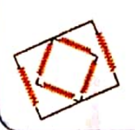


من الدائرة المقابلة، احسب :

(أ) المقاومة المكافئة.

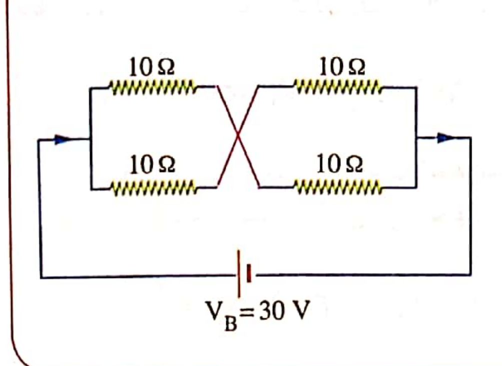
(ب) شدة التيار المار فى الدائرة.







الحـــــل



(أ) لا يمر تيار فى المقاومة 20 Ω لتساوى الجهد بين طرفيها ويصبح شكل الدائرة كما هو موضح :

$$\grave{R} = \frac{10}{2} + \frac{10}{2} = 10\ \Omega$$

(ب) $$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{30}{10} = 3\ A$$

* مما سبق يمكن المقارنة بين توصيل المقاومات على التوالى وتوصيلها على التوازى كالتالى :

	توصيل المقاومات على التوالى	توصيل المقاومات على التوازى
طريقة التوصيل فى الدائرة	I R_1 R_2 R_3 I V_1 V_2 V_3 V	I I_1 R_1 I_2 R_2 I_3 R_3 I V
الغرض منه	الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة مقاومات صغيرة	الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة مقاومات كبيرة
شدة التيار الكهربى	متساوية فى جميع المقاومات (I) $(I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots)$	التيار الكلى يساوى مجموع التيارات فى المقاومات $(I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots)$
فرق الجهد	فرق الجهد الكلى يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات $(V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots)$	متساوى بين طرفى جميع المقاومات (V) $(V = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots)$
القانون المستخدم لتعيين المقاومة المكافئة $(\grave{R})$	* لعدة مقاومات : $\grave{R} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $\grave{R} = NR$	* لعدة مقاومات : $\frac{1}{\grave{R}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $\grave{R} = \frac{R}{N}$ * لمقاومتين : $\grave{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

الطاقة الكهربية والقدرة الكهربية

القدرة الكهربية (P_w)		الطاقة الكهربية (W)
الطاقة الكهربية المستهلكة خلال ثانية واحدة		الشغل المبذول لنقل الشحنات الكهربية بين نقطتين بينهما فرق فى الجهد
$P_w = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$	العلاقة الرياضية	$W = P_w t = VQ = VIt = I^2Rt = \frac{V^2 t}{R}$
الوات وتكافئ جول/ثانية	وحدة القياس	الجول وتكافئ ڤولت . كولوم

مما سبق نستنتج أن :

- **القدرة الكهربية المستنفذة فى موصل تزداد بزيادة فرق الجهد بين طرفى الموصل**

لأن القدرة الكهربية المستنفذة فى موصل تتناسب طرديًا مع مربع فرق الجهد بين طرفى الموصل تبعًا للعلاقة ($P_w = \frac{V^2}{R}$).

- **القدرة الكهربية المستنفذة من مصدر كهربى تزداد إذا وصلت مقاومة على التوازى مع مقاومة أخرى فى دائرة المصدر،**

لأن توصيل المقاومات على التوازى يقلل من قيمة المقاومة الكلية فتزداد القدرة المستنفذة تبعًا للعلاقة ($P_w = \frac{V^2}{R}$) حيث فرق الجهد ثابت فتتناسب القدرة الكهربية عكسيًا مع المقاومة.

ملحوظة

* إذا وصلت مجموعة مصابيح على التوازى تحت فرق جهد ثابت فعند إزالة أحد هذه المصابيح يظل فرق الجهد بين طرفى كل مصباح ثابت وبالتالى تظل القدرة المستنفذة فى كل مصباح ثابتة تبعًا للعلاقة ($P_w = \frac{V^2}{R}$) وبالتالى تظل إضاءة المصباح الواحد ثابتة ولكن تقل الإضاءة الكلية للمصابيح.



مثال

إذا كان فرق الجهد بين طرفى مصباح كهربى 75 V وشدة التيار المار خلاله 1.5 A، احسب القدرة الكهربية للمصباح والطاقة الكهربية المستنفذة عند تشغيله لمدة 10 min

الحل

$V = 75\ V$	$I = 1.5\ A$	$t = 10\ min$	$P_w = ?$	$W = ?$

$P_w = VI = 75 \times 1.5 = 112.5\ W$

$W = P_w t = 112.5 \times 10 \times 60 = 6.75 \times 10^4\ J$

إرشاد

- المقارنة بين القدرة المستهلكة فى مقاومتين إذا كان :

– شدة التيار فيهما متساوية :

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

– فرق الجهد بين طرفيهما متساوى :

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{V^2}{R_1} \times \frac{R_2}{V^2} = \frac{R_2}{R_1}$$

مثال

مصباحان مقاومتهما R_1 ، R_2، فإذا وصلا معًا فى دائرة كهربية بها مصدر كهربى وكان $R_1 > R_2$، أيهما يصبح أكثر إضاءة إذا كان المصباحان متصلين :

(أ) على التوالى. (ب) على التوازى.

الحل

(أ)

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$\because R_1 > R_2$ $\quad \therefore (P_w)_1 > (P_w)_2$

∴ إضاءة المصباح الأول > إضاءة المصباح الثانى

(ب)

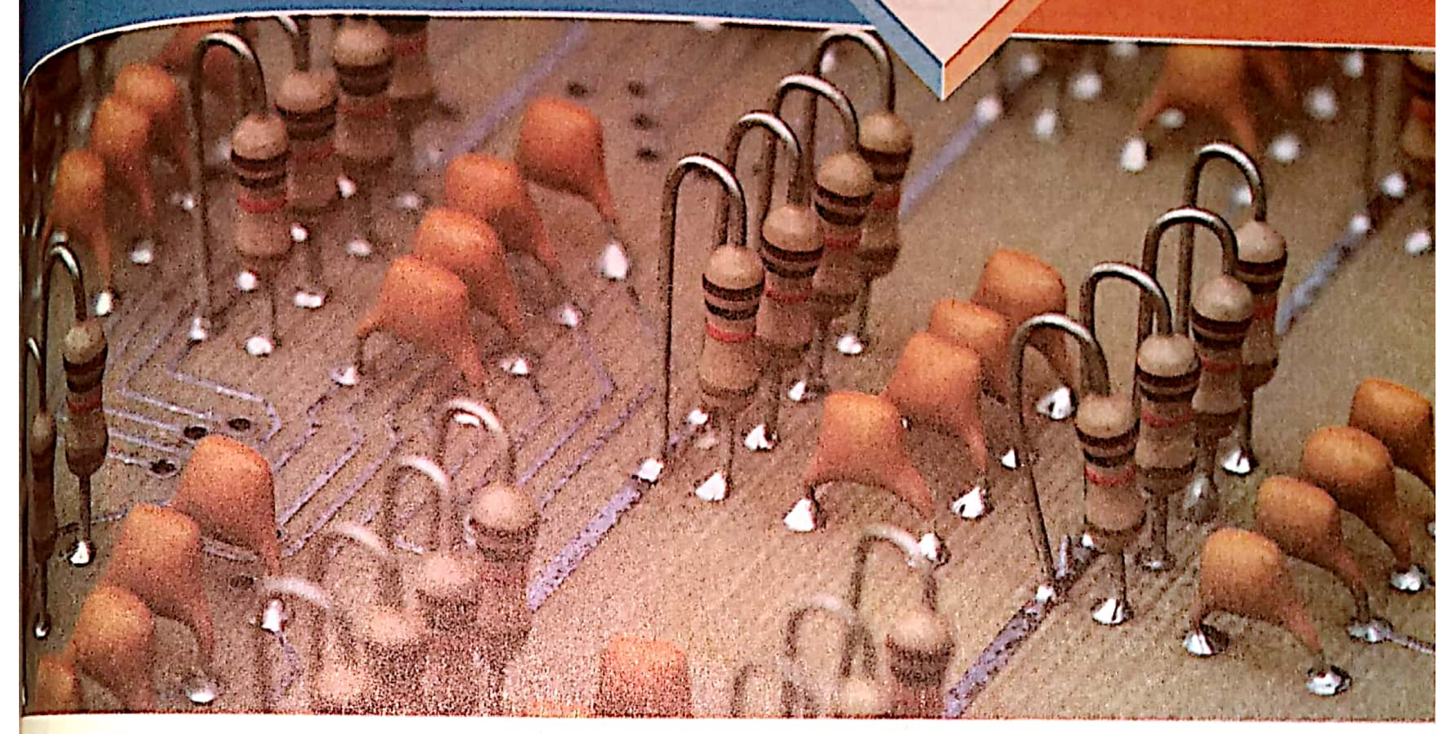
$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$\because R_1 > R_2$ $\quad \therefore (P_w)_1 < (P_w)_2$

∴ إضاءة المصباح الأول < إضاءة المصباح الثانى

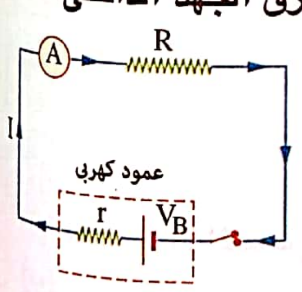


قانون أوم للدائرة المغلقة



* درسنا فيما سبق أن العمود الكهربى (البطارية) هو مصدر الجهد فى الدائرة الكهربية، وبسبب مقاومة المواد المصنوع منها العمود الكهربى يكون لكل عمود كهربى مقاومة داخلية وبذلك تصبح المقاومة الكلية للدائرة هى المحصلة للمقاومة الخارجية المتصلة بالدائرة والمقاومة الداخلية للعمود الكهربى.
* تقدر القوة الدافعة الكهربية (V_B) لمصدر كهربى بالشغل الكلى المبذول خارج وداخل المصدر الكهربى لنقل وحدة الشحنات الكهربية فى الدائرة كلها،

وتكون : القوة الدافعة الكهربية للمصدر = فرق الجهد الخارجى + فرق الجهد الداخلى.



* إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) بالرمز (V_B) وشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز (I) وللمقاومة الخارجية بالرمز (R) وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز (r) كما بالشكل، فإن :



$$V_B = IR + Ir$$

وتعرف هذه العلاقة بقانون أوم للدائرة المغلقة.

$\because V = IR$ $\therefore V_B = V + Ir$

$\because V_B = IR + Ir$ $\therefore V_B = I(R + r)$

حيث : (V) فرق الجهد بين طرفى المقاومة الخارجية أو فرق الجهد بين طرفى العمود عند مرور تيار كهربى فى الدائرة الكهربية.

من قانون أوم للدائرة المغلقة يتضح أن :

- **عند زيادة المقاومة الخارجية (R) فى الدائرة الكهربية السابقة،**

يزداد فرق الجهد بين قطبى العمود (V)، لأنه بزيادة المقاومة الكلية للدائرة تقل شدة التيار المار فيها حيث $\left(I = \frac{V_B}{R + r}\right)$ فيقل فرق الجهد الداخلى (Ir) وحيث إن V_B ثابتة فإن فرق الجهد (V) بين طرفى البطارية يزداد تبعًا للعلاقة $(V = V_B - Ir)$.

- **فرق الجهد بين قطبى العمود (V) يصبح :**

(١) **مساوى تقريبًا** للقوة الدافعة الكهربية له (V_B)،

عندما تصبح قيمة شدة التيار أو المقاومة الداخلية للعمود صغيرة جدًا يمكن معها إهمال قيمة (Ir).

(٢) **مساوى** للقوة الدافعة الكهربية له (V_B)،

عندما تكون الدائرة الكهربية مفتوحة.

- **القوة الدافعة الكهربية (V_B) لعمود كهربى تكون أكبر من فرق الجهد (V) بين طرفيه،**

لأن المقاومة الداخلية للعمود تستنفذ شغلًا لكى يمر التيار الكهربى داخل العمود تبعًا للعلاقة $(V_B = V + Ir)$ وبذلك تكون $(V_B > V)$.

* **مما سبق يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربية لعمود كما يلى :**

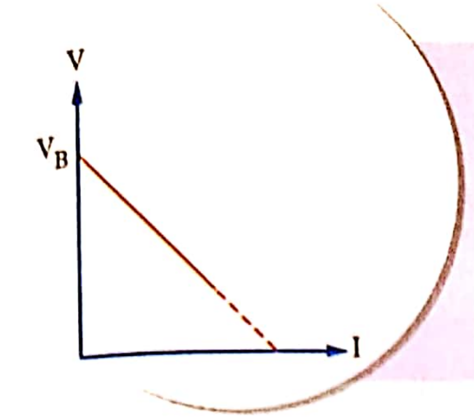
القوة الدافعة الكهربية لعمود (V_B)

مقدار الشغل الكلى المبذول لنقل كمية من الكهربية مقدارها واحد كولوم (وحدة الشحنات الكهربية) خارج وداخل العمود فى الدائرة الكهربية.

أو

فرق الجهد بين قطبى العمود فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى الدائرة (المفتاح مفتوح).

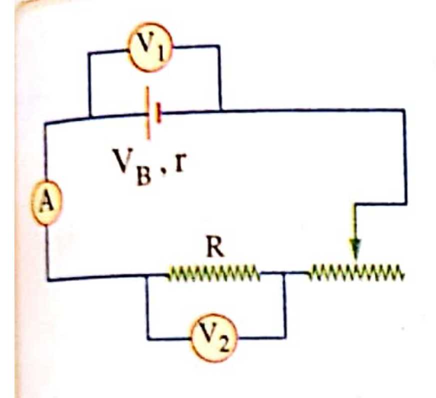
* تقاس القوة الدافعة الكهربية لمصدر بوحدة **الفولت**.



* التمثيل البيانى للعلاقة بين فرق الجهد بين طرفى مصدر كهربى وشدة التيار المار فى الدائرة الكهربية :

$$slope = \frac{\Delta V}{\Delta I} = -r$$

ملحوظة



*** فى الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل، عند زيادة قيمة المقاومة المأخوذة من الريوستات :**

(١) تقل شدة التيار المار فى الدائرة (I) تبعًا للعلاقة ($I = \frac{V_B}{R + r}$).

(٢) يزداد فرق الجهد (V_1) بين قطبى البطارية،

لأنه نظرًا لنقص قيمة شدة التيار المار فى الدائرة يقل فرق الجهد الداخلى (Ir) وحيث إن قيمة القوة الدافعة الكهربية (V_B) للبطارية ثابتة فإن فرق الجهد (V_1) بين طرفى البطارية يزداد.

(٣) تزداد المقاومة الكلية للدائرة فتقل شدة التيار المار فى المقاومة R فيقل فرق الجهد بين طرفى المقاومة R طبقًا للعلاقة ($V_2 = IR$) عند ثبوت قيمة R

مثال

عمود كهربى قوته الدافعة الكهربية 2 V وصل فى دائرة كهربية، فإذا كانت المقاومة الداخلية له 0.1 Ω والمقاومة الخارجية 3.9 Ω ، **احسب** شدة التيار الكلى فى الدائرة.

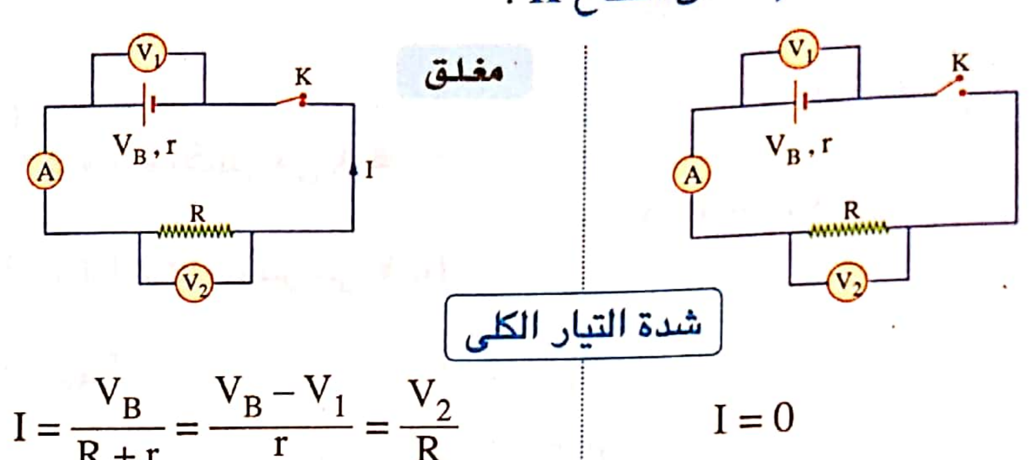
الحل

$V_B = 2\ V$	$r = 0.1\ \Omega$	$R = 3.9\ \Omega$	$I = ?$

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5\ A$$

إرشاد

* فى الدائرة الموضحة بالشكل إذا كان المفتاح K :



شدة التيار الكلى

مفتوح	مغلق
$I = 0$	$I = \frac{V_B}{R+r} = \frac{V_B - V_1}{r} = \frac{V_2}{R}$

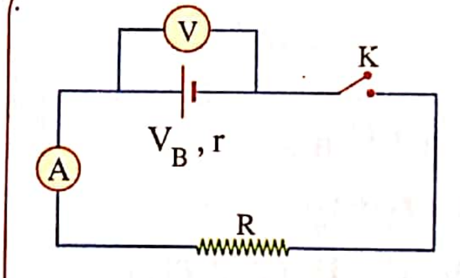
فرق الجهد بين طرفى العمود الكهربى

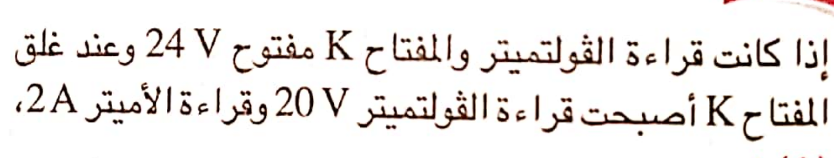
مفتوح	مغلق
$V_1 = V_B$	$V_1 = V_B - Ir$

فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R)

مفتوح	مغلق
$V_2 = 0$	$V_2 = IR$

مثال



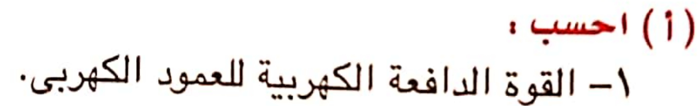

إذا كانت قراءة الڤولتميتر والمفتاح K مفتوح 24 V وعند غلق المفتاح K أصبحت قراءة الڤولتميتر 20 V وقراءة الأميتر 2A،

(أ) احسب :

١- القوة الدافعة الكهربية للعمود الكهربى.

٢- المقاومة الداخلية للعمود الكهربى.

٣- قيمة المقاومة R


(ب) إذا استبدلت المقاومة R بمقاومة 4 Ω، **احسب** قراءة كل من الأميتر والڤولتميتر.

الحل

(أ) ١- المفتاح K مفتوح :

$$V_B = V = 24\ V$$

٢- عند غلق المفتاح K :

$$V_B = V + Ir$$

$$24 = 20 + 2r$$

$$r = 2\ \Omega$$

-٣

$V = IR$

$20 = 2R$

$R = 10\ \Omega$

(ب)

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{24}{4 + 2} = 4\ A$$

∴ قراءة الأميتر هى 4 A

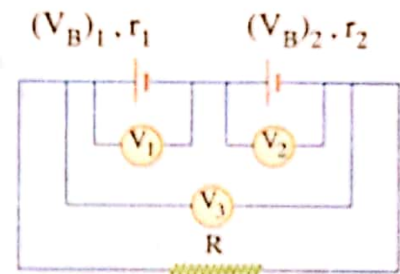
$$V = V_B - Ir = 24 - (4 \times 2) = 16\ V$$

∴ قراءة الفولتميتر هى 16 V

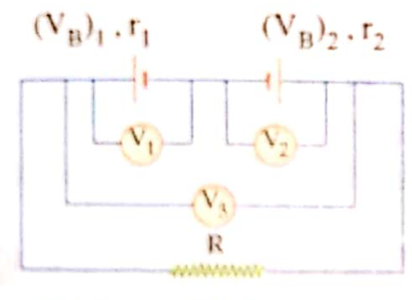
إرشاد

* فى حالة عمودين كهربيين متصلين على التوالى :

فى نفس الاتجاه
(الأقطاب المختلفة تتصل معًا)



فى اتجاهين متعاكسين
(الأقطاب المتشابهة تتصل معًا)



(حيث : $(V_B)_1 > (V_B)_2$)

فإن

فى نفس الاتجاه:

$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1$ (حالة تفريغ)

$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2$ (حالة تفريغ)

$V_3 = V_1 + V_2 = IR$

فى اتجاهين متعاكسين:

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1$ (حالة تفريغ)

$V_2 = (V_B)_2 + Ir_2$ (حالة شحن)

$V_3 = V_1 - V_2 = IR$

مثال ١

فى الدائرة المقابلة،
إذا كانت القوة الدافعة الكهربية للعمودين $(V_B)_1 = 10\ V$ ، $(V_B)_2 = 14\ V$ والمقاومة الداخلية لهما $0.5\ \Omega$ ، $1.5\ \Omega$ على الترتيب، احسب :

$(V_B)_1 , r_1$ — $(V_B)_2 , r_2$ — $R_1 = 10\ \Omega$ — $R_2 = 10\ \Omega$ — $R_3 = 5\ \Omega$

(أ) شدة التيار المار فى الدائرة.

(ب) فرق الجهد بين طرفى كل من العمودين.

الحل

$(V_B)_1 = 10\ V$ | $(V_B)_2 = 14\ V$ | $r_1 = 0.5\ \Omega$ | $r_2 = 1.5\ \Omega$ | $R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 10\ \Omega$ | $R_3 = 5\ \Omega$ | $I = ?$ | $V_1 = ?$ | $V_2 = ?$

(أ)

$$\grave{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{10 \times 10}{10 + 10} + 5 = 10\ \Omega$$

$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{\grave{R} + r_1 + r_2} = \frac{10 + 14}{10 + 0.5 + 1.5} = 2\ A$$

(ب)

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 10 - (2 \times 0.5) = 9\ V$$

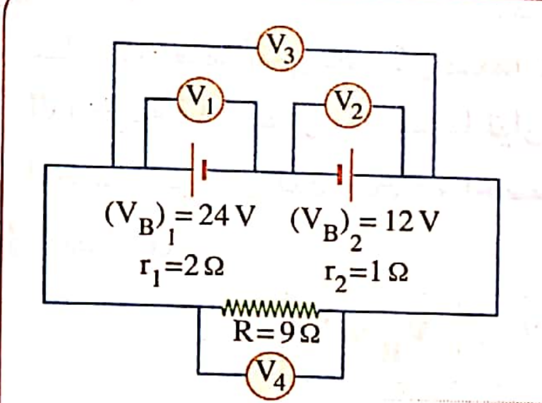
$$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2 = 14 - (2 \times 1.5) = 11\ V$$



مثال (٢)

مستخدمًا البيانات الموضحة على الشكل المقابل،

احسب قراءة كل من : V_1 ، V_2 ، V_3 ، V_4



الحل

$(V_B)_1 = 24\ V$ | $(V_B)_2 = 12\ V$ | $r_1 = 2\ \Omega$ | $r_2 = 1\ \Omega$ | $R = 9\ \Omega$

$V_1 = ?$ | $V_2 = ?$ | $V_3 = ?$ | $V_4 = ?$

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{24 - 12}{9 + 2 + 1} = 1\ A$$

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 24 - (1 \times 2) = 22\ V$$

(حالة تفريغ)

(حالة شحن)

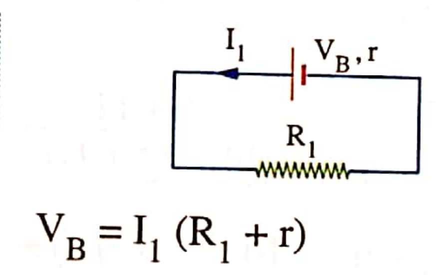
$V_2 = (V_B)_2 + Ir_2 = 12 + (1 \times 1) = \mathbf{13\ V}$

$V_3 = V_1 - V_2 = 22 - 13 = \mathbf{9\ V}$

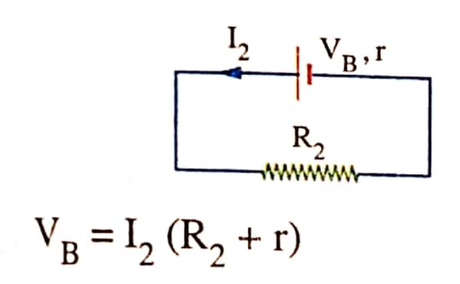
$V_4 = IR = 1 \times 9 = \mathbf{9\ V}$

إرشاد

* عند استبدال المقاومة الخارجية R_1 والتى يمر بها تيار شدته I_1 بمقاومة أخرى R_2 تتغير شدة التيار المار فى الدائرة إلى I_2 عند توصيلها بنفس البطارية :



$V_B = I_1 (R_1 + r)$



$V_B = I_2 (R_2 + r)$

وتحل المعادلتان جبريًا لإيجاد القيم المجهولة

مثال

مقاومتان متماثلتان قيمة كل منهما R عندما وصلتا معًا على التوالى بعمود كهربى مقاومته الداخلية 2 Ω يمر بكل منهما تيار شدته 2.4 A وعندما يوصلا معًا على التوازى بنفس المصدر يمر بكل منهما 3 A، **احسب** قيمة R وكذلك القوة الدافعة الكهربية للعمود.

الحل

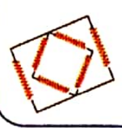
$V_B = ?$	$R = ?$	$I_2 = 3\ A$	$I_1 = 2.4\ A$	$r = 2\ \Omega$

$V_B = I_2 (R'_2 + r)$

$V_B = 6 \left(\frac{R}{2} + 2\right)$ ②

$V_B = I_1 (R'_1 + r)$

$V_B = 2.4 (2R + 2)$ ①



من المعادلتين (1) ، (2)

$$2.4\,(2\,\mathbf{R} + 2) = 6\,(\frac{\mathbf{R}}{2} + 2)$$

$$4.8\,\mathbf{R} + 4.8 = 3\,\mathbf{R} + 12$$

$$\mathbf{R = 4\,\Omega}$$

بالتعويض فى المعادلة (1)

$$V_B = 2.4\,((2 \times 4) + 2)$$

$$= \mathbf{24\ V}$$



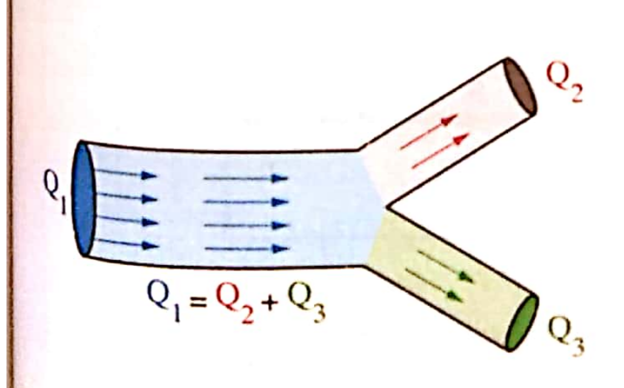
قانونا كيرشوف

* هناك دوائر كهربية معقدة يصعب حلها مباشرةً بتطبيق قانون أوم عليها، لذلك قام العالم الألمانى كيرشوف (Kirchhoff) بوضع قانونين يمكن من خلالهما التعامل مع هذه الدوائر وسوف نتناول كل منهما فيما يلى بشىء من التفصيل :

القانون الأول لكيرشوف

* لقد عرفنا أن التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية عبارة عن سيل من الإلكترونات السالبة (شحنات كهربية) تنتقل من نقطة لأخرى.

* تبعًا لقانون حفظ الشحنة فإن مقدار الشحنة الكهربية الداخلة إلى نقطة ما فى زمن معين هو نفس مقدار الشحنة الخارجة من هذه النقطة فى نفس الزمن ولأن شدة التيار تساوى مقدار الشحنات الكهربية التى تعبر خلال مقطع معين فى الثانية الواحدة، فإن القانون الأول لكيرشوف ينص على :



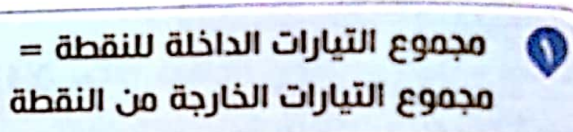
نص القانون الأول لكيرشوف

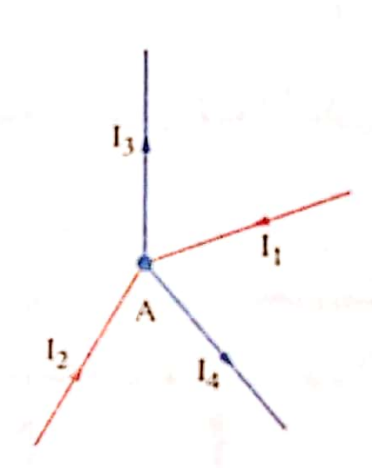
مجموع التيارات الكهربية الداخلة عند نقطة فى دائرة كهربية مغلقة يساوى مجموع التيارات الخارجة منها.

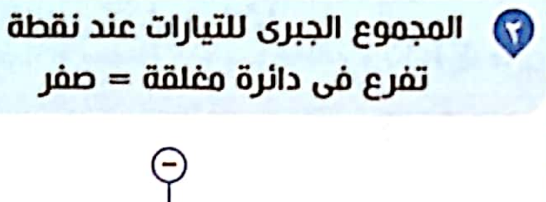
أو

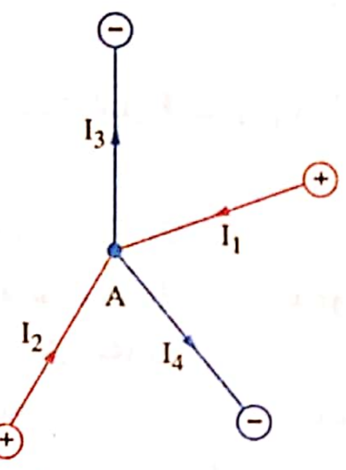
المجموع الجبرى للتيارات عند نقطة فى دائرة مغلقة يساوى صفر.

* تطبيق على القانون الأول لكيرشوف :









الصيغة الرياضية

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$\Sigma I = 0$$

عند نقطة التفرع

- التيار الداخل للنقطة والخارج منها تكون إشارته موجبة.

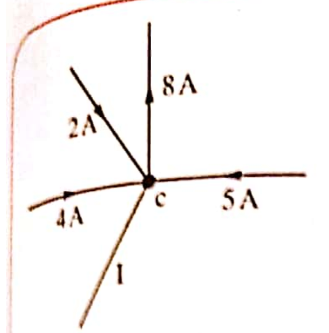
$$\therefore I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

- التيار الداخل للنقطة تكون إشارته موجبة.
- التيار الخارج من النقطة تكون إشارته سالبة.

$$\therefore I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$



مثال ١



من الشكل المقابل، **احسب** مقدار شدة التيار (I) **وحدد** اتجاهه.

الحل

بفرض اتجاه التيار (I) إلى داخل النقطة (c)

طبقًا لقانون كيرشوف الأول

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

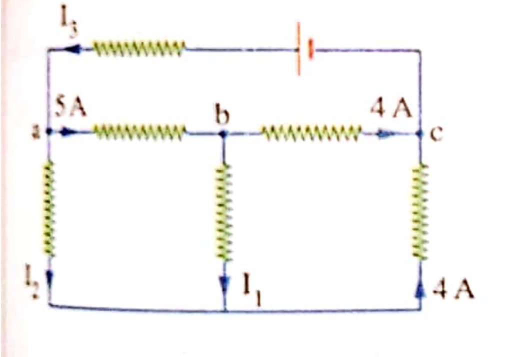
$$4 + 5 + 2 + I = 8$$

$$I = -3\ A$$

∴ مقدار شدة التيار I يساوى 3 A واتجاهه خارج من النقطة c (عكس الاتجاه المفروض).



مثال ٢

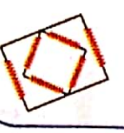


احسب قيم شدة التيارات المجهولة فى الدائرة المبينة بالشكل المقابل.

الحل

عند النقطة (a) هناك تياران مجهولان I_2 ، I_3 بينما عند كل من النقطتين (b) ، (c) هناك تيار واحد مجهول القيمة I_1 ، I_3 على الترتيب.

	الرسم	التطبيق
١	5A b 4A, I_1	عند النقطة (b) $5 = I_1 + 4$ $I_1 = 1\ A$
٢	I_3, 4A, c, 4A	عند النقطة (c) $4 + 4 = I_3$ $\therefore I_3 = 8\ A$
٣	8A, 5A, a, I_2	عند النقطة (a) $I_3 = 5 + I_2$ $8 = 5 + I_2$ $\therefore I_2 = 8 - 5 = 3\ A$



القانون الثانى لكيرشوف

* درسنا فيما سبق أن القوة الدافعة الكهربية لدائرة مغلقة تعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنات الكهربية خلال الدائرة كلها مرة واحدة بينما فرق الجهد الكهربى بين نقطتين يعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنات الكهربية بين هاتين النقطتين (جزء من الدائرة)، وتبعًا لذلك قام كيرشوف بصياغة العلاقة بين فرق الجهد الكهربى (V) والقوة الدافعة الكهربية (V_B) فى قانونه الثانى كما يلى :

نص القانون الثانى لكيرشوف

المجموع الجبرى للقوى الدافعة (المحركة) الكهربية فى دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لفروق الجهد فى الدائرة.

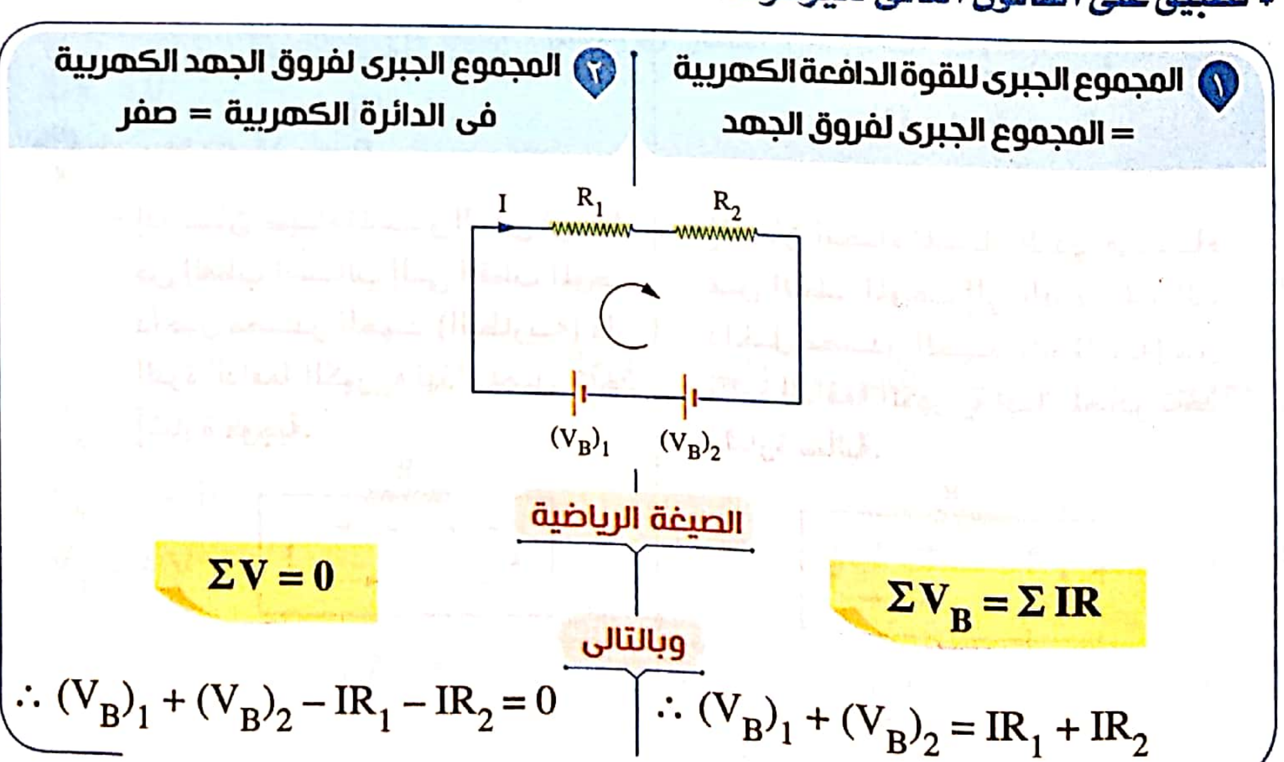
أو

المجموع الجبرى لفروق الجهد الكهربية فى مسار مغلق يساوى صفر.

ملاحظات

* عند حل مسائل قانون كيرشوف الثانى لابد من افتراض اتجاه لكل مسار مغلق فى اتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة.
* يطبق القانون الثانى لكيرشوف على أى مسار مغلق.
* يعتبر القانون الثانى لكيرشوف تطبيقًا لقانون بقاء الطاقة.

* **تطبيق على القانون الثانى لكيرشوف :**



$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$\therefore (V_B)_1 + (V_B)_2 = IR_1 + IR_2$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\therefore (V_B)_1 + (V_B)_2 - IR_1 - IR_2 = 0$$

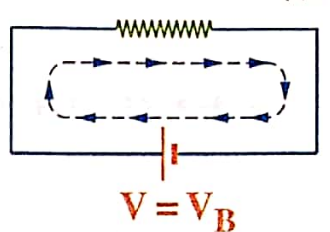


قاعدة تحديد إشارات فروق الجهد بين طرفى المقاومات والبطاريات

* يجب مراعاة قاعدة الإشارات الآتية عند تطبيق قانون كيرشوف الثانى على مسار مغلق مستخدمًا الصيغة الرياضية :

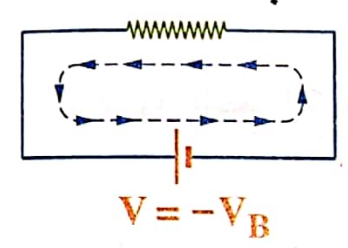
(١) $\Sigma V_B = \Sigma IR$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة موجبة.



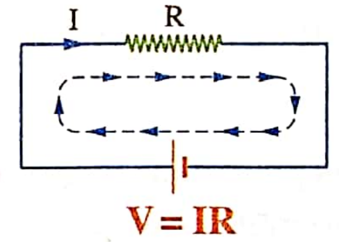
$V = V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلى القطب السالب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة سالبة.



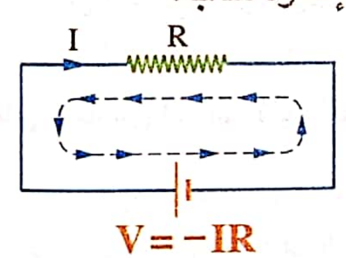
$V = -V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **نفس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة موجبة.



$V = IR$

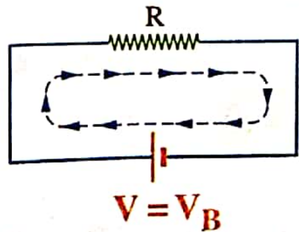
– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **عكس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة سالبة.



$V = -IR$

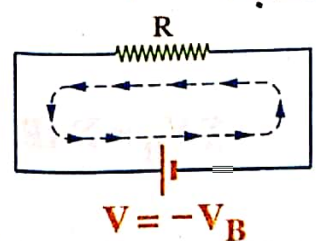
(٢) $\Sigma V = 0$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة موجبة.



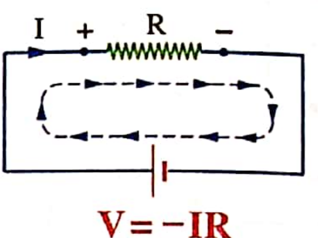
$V = V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلى القطب السالب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة سالبة.



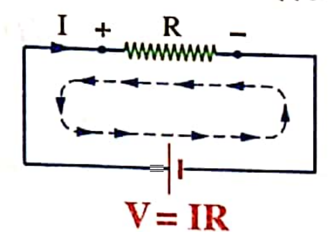
$V = -V_B$

- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **نفس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **سالبة**.



$V = -IR$

- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **عكس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **موجبة**.

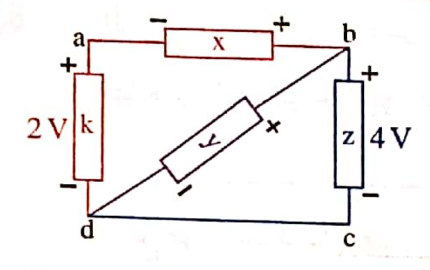


$V = IR$

مثال

من الدائرة الموضحة،

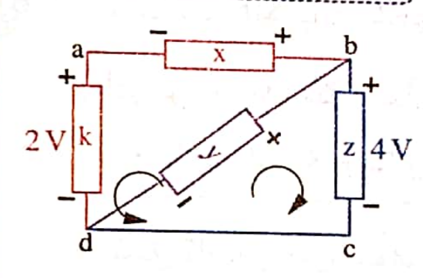
احسب قيمة V_x ، V_y



الحل

$V_z = 4\ V$ | $V_k = 2\ V$ | $V_x = ?$ | $V_y = ?$

نفرض اتجاهات المسارات كما هو موضح بالدائرة :



بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (adcba)

$$\Sigma V = 0$$

$$-V_x - V_k + V_z = 0$$

$$-V_x - 2 + 4 = 0$$

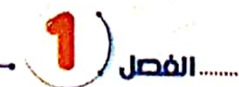
$$V_x = 2\ V$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (bcdb)

$$V_y - V_z = 0$$

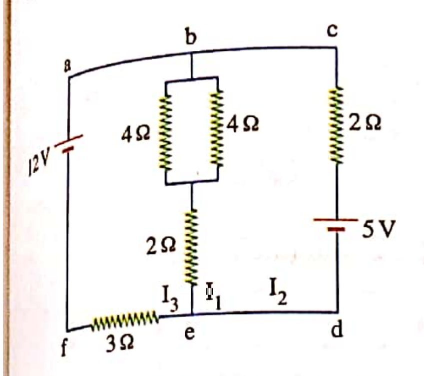
$$V_y - 4 = 0$$

$$V_y = 4\ V$$



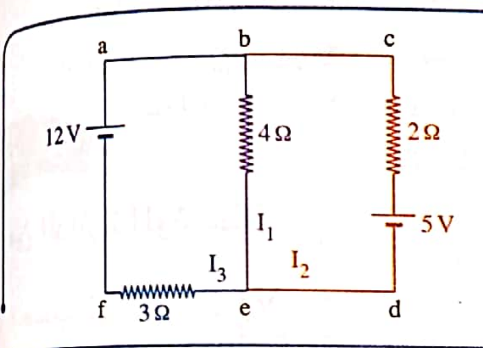
كيفية حل مسائل كيرشوف

* إذا كان لديك دائرة كهربية كالموضحة بالشكل فلحساب شدة التيار المار فى كل مقاومة نتبع الخطوات الآتية :



١

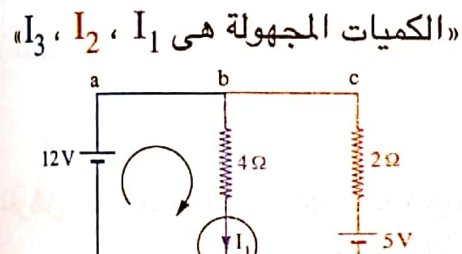
* إذا كان هناك مجموعة مقاومات متصلة معًا على التوالى أو التوازى يفضل إيجاد المقاومة المكافئة لها قبل البدء فى تطبيق قانونى كيرشوف.



٢

* افـرض اتجاهًـا معينًـا لكل تيـار مجهـول «هذه الاتجاهات ليست بالضرورة صحيحة».
* حدد عدد الكميات المجهولة المراد حسابها.
* افرض اتجاهًا لكل مسار مغلق. «مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة».

«الكميات المجهولة هى I_1 ، I_2 ، I_3»



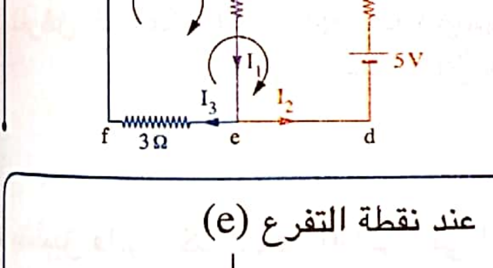
٣

* طبق قانـون كيرشـوف الأول عند نقطة تفـرع التيار بحيث يكون :

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

وبذلك تكون قد حصلت على المعادلة الأولى.

عند نقطة التفرع (e)



$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

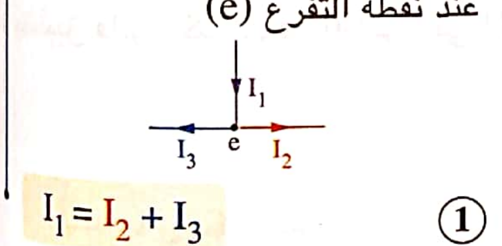
٤

* اختـر مسـارًا مغلقًا وطبق قانون كيرشـوف الثانـى خلاله مـع مراعـاة قاعدة الإشـارات بحيث يكون :

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

وبذلك تكون قد حصلت على المعادلة الثانية.

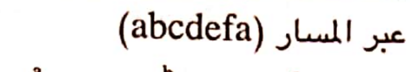
عبر المسار (abefa)



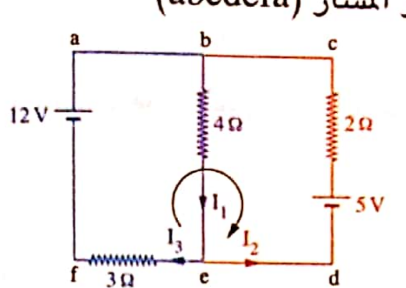
$$12 = 4\,I_1 + 3\,I_3 \quad (2)$$



٥ * كرر الخطوة السابقة على عدة مسارات حتى يتساوى عدد المعادلات مع عدد القيم المجهولة.



عبر المسار (abcdefa)



$$12 - 5 = 3\,I_3 - 2\,I_2$$

$$7 = 3\,I_3 - 2\,I_2 \quad (3)$$



٦ * حل المعادلات (1) ، (2) ، (3) آنيًا أو باستخدام الآلة الحاسبة وبذلك تكون قد حصلت على القيم المجهولة، وهى : $I_1 = 1.5\ A$, $I_2 = -0.5\ A$, $I_3 = 2\ A$

٧ * إذا كانت القيمة المحسوبة للتيار :

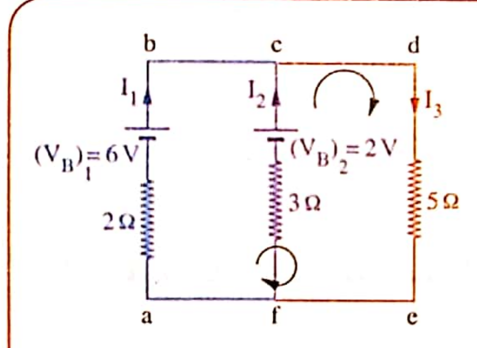
- موجبة : يكون الاتجاه الصحيح للتيار هو نفس الاتجاه المفروض فى البداية.
- سالبة : يكون الاتجاه الصحيح للتيار فى عكس الاتجاه المفروض فى البداية.

مثال ١

فى الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :

(أ) شدة التيار المار فى كل فرع.

(ب) فرق الجهد بين النقطتين a ، b



الحل

(أ) بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (c)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (abcdefa)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$6 = 2\,I_1 + 5\,I_3 \quad (2)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (fcdef)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$2 = 3\,I_2 + 5\,I_3 \quad (3)$$

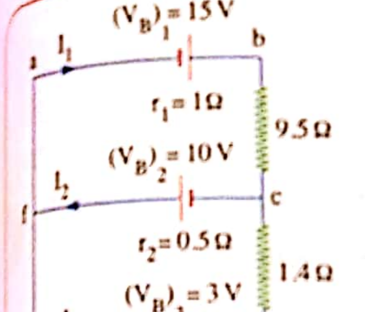
بحل المعادلات ①، ②، ③ باستخدام الآلة الحاسبة :

$\therefore I_1 = 1.226\ A \quad , \quad I_2 = -0.516\ A \quad , \quad I_3 = 0.71\ A$

(ب) حساب فرق الجهد بين النقطتين a ، b

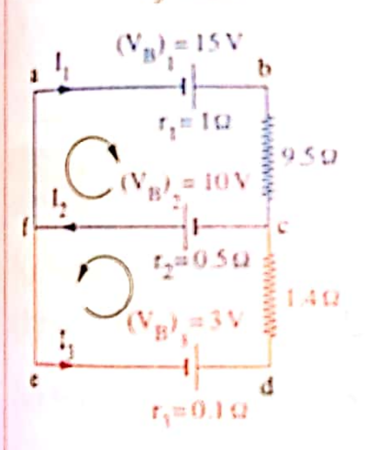
$$V_{ab} = (V_B)_1 - I_1 R$$
$$= 6 - (1.226 \times 2) = 3.548\ V$$

مثال ٢



من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل،
احسب قيمة شدة التيار المار فى كل فرع.

الحل



نفرض اتجاهات المسارات
كما هو موضح بالدائرة.

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (f)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad ①$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (fabcf)

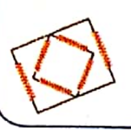
$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$
$$15 + 10 = (1 + 9.5)\, I_1 + 0.5\, I_2$$
$$25 = 10.5\, I_1 + 0.5\, I_2 \quad ②$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (edcfe)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$
$$3 + 10 = (0.1 + 1.4)\, I_3 + 0.5\, I_2$$
$$13 = 1.5\, I_3 + 0.5\, I_2 \quad ③$$

وبحل المعادلات ①، ②، ③ باستخدام الآلة الحاسبة :

$I_1 = 2\ A \quad , \quad I_2 = 8\ A \quad , \quad I_3 = 6\ A$



مثال ٣

من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :

(أ) شدة التيار المار فى كل بطارية.

(ب) فرق الجهد بين قطبى كل بطارية.

(جـ) فرق الجهد بين طرفى المقاومة 5 Ω

الحل

(أ) نفرض اتجاهات التيارات والمسارات كما هو موضح بالدائرة.

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (e)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})} \qquad I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (cbagehc)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$20 - 30 = I_1 - 2I_2 \qquad -10 = I_1 - 2I_2 \quad (2)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (dbagefd)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$20 - 15 = I_1 + 5I_3 \qquad 5 = I_1 + 5I_3 \quad (3)$$

وبحل المعادلات (1) ، (2) ، (3) باستخدام الآلة الحاسبة :

$$I_1 = -2.35\text{ A} \quad , \quad I_2 = 3.82\text{ A} \quad , \quad I_3 = 1.47\text{ A}$$

(ب) حساب فرق الجهد بين قطبى البطارية 20 V :

$$V_1 = (V_B)_1 - I_1 r_1 = 20 - (-2.35 \times 1) = 22.35\text{ V}$$

حساب فرق الجهد بين قطبى البطارية 30 V :

$$V_2 = (V_B)_2 - I_2 r_2 = 30 - (3.824 \times 2) = 22.35\text{ V}$$

فرق الجهد بين قطبى البطارية 15 V :

$$V_3 = 15\text{ V}$$

(جـ) فرق الجهد بين طرفى المقاومة 5 Ω :

$$V = I_3 \times 5 = 1.47 \times 5 = 7.35\text{ V}$$





الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل 2

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

الدرس الأول التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.

الدرس الثانى تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.

الدرس الثالث
- القوة المغناطيسية.
- عزم الازدواج.

الدرس الرابع أجهزة القياس الكهربى.

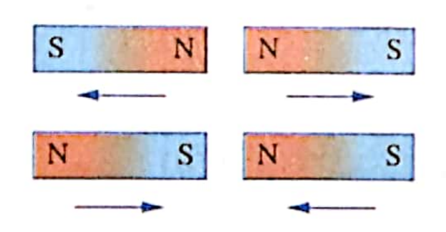


التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى



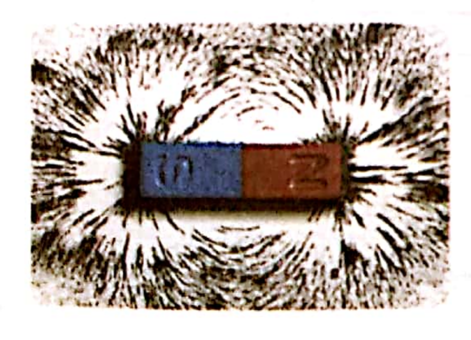
* المغناطيس حجر طبيعى يجذب الأجسام التى تحتوى على حديد كدبابيس الورق والمسامير، وتسمى المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتى يظهر فيها تأثيره على هذه الأجسام **بالمجال المغناطيسى** للمغناطيس.

* ثبت علميًا أن «**الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب**» ولذلك عند تعليق مغناطيس حر الحركة من منتصفه فإن قطبه الشمالى (N) يشير إلى اتجاه الشمال الجغرافى وقطبه الجنوبى (S) يشير إلى اتجاه الجنوب الجغرافى (فكرة عمل البوصلة).

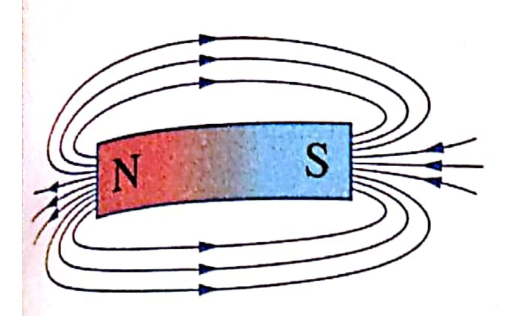


تخطيط المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى

عند نثر برادة حديد على لوح ورق مقوى ووضع قضيب مغناطيسى فوق اللوح ثم الطرق على لوح الورق طرقات خفيفة تترتب برادة الحديد على هيئة خطوط منحنية تسمى **خطوط الفيض المغناطيسى** (خطوط المجال المغناطيسى).



خواص خطوط الفيض المغناطيسى



① تتجـه من القطب الشـمالى للمغناطيس إلى القطب الجنوبـى للمغناطيـس خـارج المغناطيـس ومـن القطـب الجنوبى للمغناطيس إلى القطب الشـمالى للمغناطيـس داخـل المغناطيـس، أى أنهـا تُكـوِّن مسارات مغلقة.

② لا تتقاطع مع بعضها.

③ تتزاحم عند قطبى المغناطيس وتتباعد بالبعد عن القطبين.

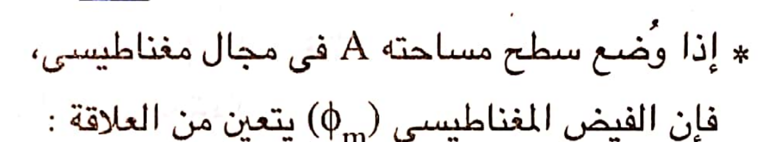
④ اتجاه المجال المغناطيسى عند أى نقطة هو المماس لخط المجال عند تلك النقطة.

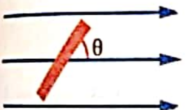
الفيض المغناطيسى Magnetic flux

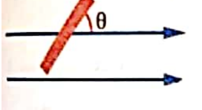
* يُعبر عن شدة المجال المغناطيسى عند نقطـــة **بكثافة الفيـــض المغناطيسى عند تلك النقطة (B).**

كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة (B)

الفيض المغناطيسى لوحدة المساحات العمودية على خطوط الفيض المحيطة بتلك النقطة.





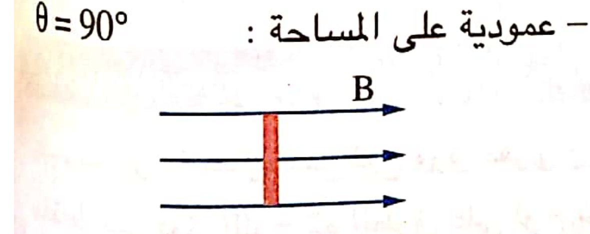


* إذا وُضع سطح مساحته A فى مجال مغناطيسى، فإن الفيض المغناطيسى (ϕ_m) يتعين من العلاقة :

$$\phi_m = BA \sin \theta$$

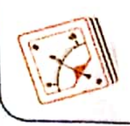
حيث : (θ) الزاوية المحصورة بين اتجاه المجال والمساحة.

فإذا كانت خطوط الفيض

– موازية للمساحة : $\theta = 0°$	– عمودية على المساحة : $\theta = 90°$
B	

فإن

$\phi_m = BA \sin 0 = 0$	$\phi_m = BA \sin 90 = BA$
أى ينعدم الفيض المغناطيسى	**أى يكون الفيض المغناطيسى قيمة عظمى**



* وحدة قياس الفيض المغناطيسى (ϕ_m) هى الوبر ("weber"Wb)، ووحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسى (B) هى الوبر/متر٢ (Wb/m^2) وتكافئ التسلا ("tesla"T).

مثال

ملف مساحة مقطعه $0.3\ m^2$ وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.05 T،

احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف إذا كان الملف :

(أ) عمودى على الفيض. (ب) موازى للفيض. (جـ) يصنع زاوية 30° مع الفيض.

الحـــل

$\phi_m = ?$ | $B = 0.05\ T$ | $A = 0.3\ m^2$

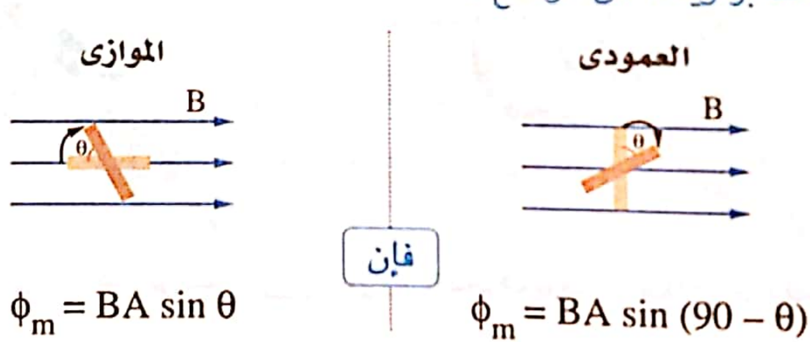
(أ) $\phi_m = BA \sin\theta = 0.05 \times 0.3 \times \sin 90 = 0.015\ Wb$

(ب) $\phi_m = 0$

(جـ) $\phi_m = 0.05 \times 0.3 \times \sin 30 = 7.5 \times 10^{-3}\ Wb$

إرشاد

* إذا دار الملف بزاوية θ من الوضع :



العمودى: $\phi_m = BA \sin(90 - \theta)$

الموازى: $\phi_m = BA \sin\theta$

مثال

ملف مساحته $2\ m^2$ وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه $0.05\ Wb/m^2$،

احسب الفيض المغناطيسى عندما يدور الملف :

(أ) بزاوية 30° مبتدءًا من الوضع العمودى على المجال.

(ب) بزاوية 30° مبتدءًا من الوضع الموازى للمجال.

الحـــل

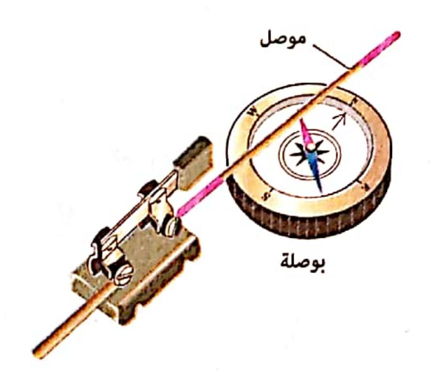
$A = 2\ m^2$ | $B = 0.05\ Wb/m^2$ | $\phi_m = ?$

(أ) $\phi_m = BA \sin(90 - \theta) = 0.05 \times 2 \times \sin(90 - 30) = \mathbf{0.087\ Wb}$

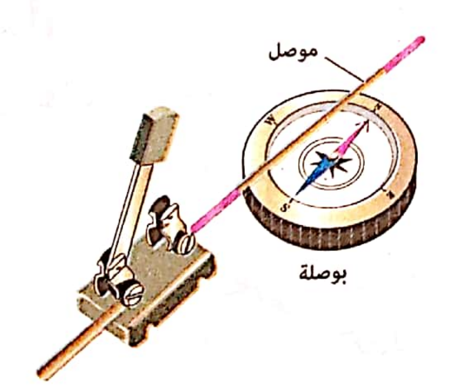
(ب) $\phi_m = BA \sin\theta = 0.05 \times 2 \times \sin 30 = \mathbf{0.05\ Wb}$

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

* مثلمـا ينشـأ مجال مغناطيسـى عن وجـود مغناطيس فإن مرور التيـار الكهربى فى موصل يُنشـئ مجـال مغناطيسـى حول هذا الموصل وهو مـا يطلق عليه **التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى** وهذا ما اكتشـفه العالم الدنماركى هانز أورسـتد عام ١٨١٩م عندما وضع بوصلة صغيـرة فوق أو أسـفل سـلك يمر به تيار كهربى وموازية له فلاحـظ انحراف إبرة البوصلة، وعندما قطع التيار الكهربى استعادت البوصلة اتجاهها الأصلى.

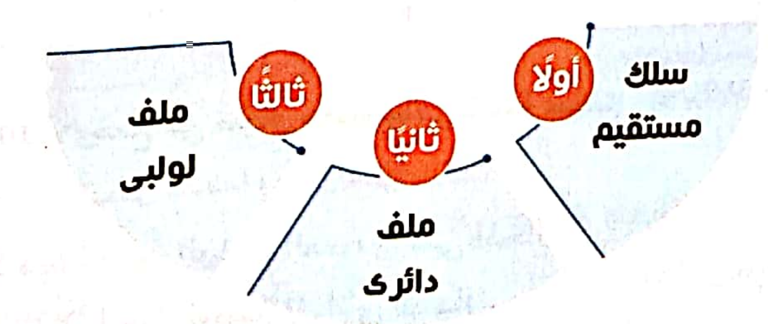


يمر تيار فينحرف مؤشر البوصلة

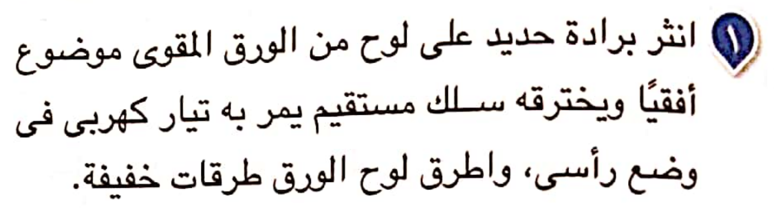


لا ينحرف مؤشر البوصلة فى حالة قطع التيار

* فيما يلى سندرس المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى موصل على هيئة:



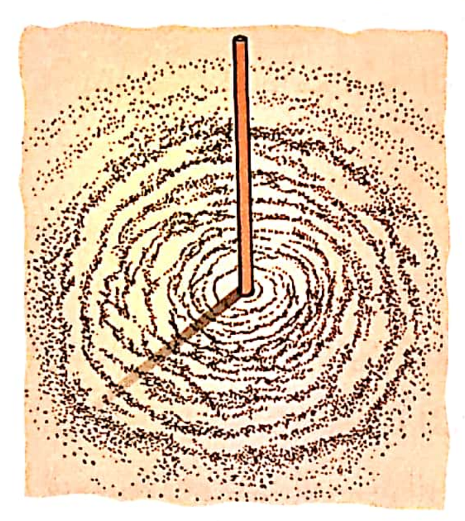




أولاً المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم

شكل خطوط الفيض المغناطيسى

* للتعرف على شكل خطوط الفيض المغناطيسى نجرى الخطوات الآتية :

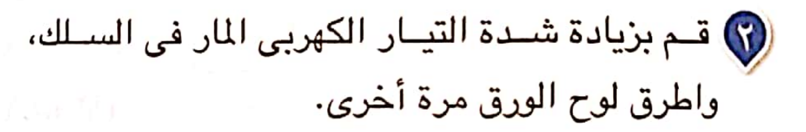


(١) انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى موضوع أفقيًا ويخترقه سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى وضع رأسى، واطرق لوح الورق طرقات خفيفة.

الملاحظة : تترتب برادة الحديد على هيئة دوائر متحدة المركز ومركزها السلك بحيث تتزاحم الدوائر بالقرب من السلك وتتباعد ببعدها عنه كما بالشكل.

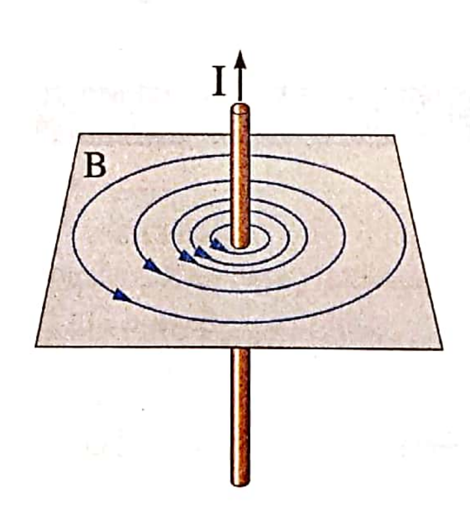
(٢) قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك، واطرق لوح الورق مرة أخرى.

الملاحظة : يزداد تزاحم الدوائر حول السلك.



* **الاستنتاج :**

(١) تعبر الدوائر عن خطوط الفيض المغناطيسى.



(٢) تتزاحم خطوط الفيض المغناطيسى لنفس التيار بالقرب من السلك وتتباعد عن بعضها بزيادة البُعد عن السلك،

أى أن : كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة تتناسب عكسيًا مع بُعدها العمودى عن محور السلك.

(٣) يزداد تزاحم خطوط الفيض المغناطيسى على نفس البُعد العمودى عن السلك عند زيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى تزداد بزيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك وتقل بنقص شدة التيار الكهربى،

أى أن : كثافة الفيض المغناطيسى تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى ($B \propto I$).

حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* عند مرور تيار كهربى شدته I فى سلك مستقيم فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بُعدها العمودى عن محور السلك d :

– تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى المار فى السلك : $B \propto I$

– تتناسب عكسيًا مع البُعد العمودى عن محور السلك : $B \propto \frac{1}{d}$

$\therefore B \propto \frac{I}{d}$ $\qquad \therefore B = \text{constant} \times \frac{I}{d}$

$$\therefore B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائرى،

حيث : (μ) معامل النفاذية المغناطيسية للوسط وهو ثابت للوسط الواحد ووحدة قياسه هى تسلا.متر/أمبير (T.m/A) وتكافئ وبر/أمبير.متر (Wb/A.m).

معامل النفاذية المغناطيسية لوسط (μ)

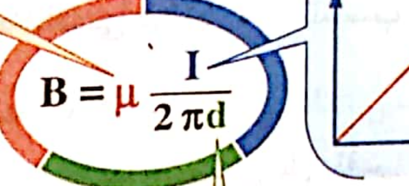
قابلية الوسط لنفاذ الفيض المغناطيسى خلاله.

* معامل النفاذية المغناطيسية للهواء = $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m

فتصبح كثافة الفيض المغناطيسى فى الهواء :

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} I}{2\pi d} = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$

العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى



١ شدة التيار :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا طرديًا مع شدة التيار المار فى السلك.

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu}{2\pi d}$$

٢ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط : (ثابت للوسط الواحد)
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا طرديًا مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{I}{2\pi d}$$

٣ بُعد النقطة عن محور السلك :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا عكسيًا مع بُعد النقطة عن محور السلك.

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta(\frac{1}{d})} = \frac{\mu I}{2\pi}$$



قاعدة اليد اليمنى لأمبير

الاستخدام :

تحديد اتجاه خطوط الفيض للمجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

تخيل أنك تقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام لاتجاه التيار فإن اتجاه التفاف باقى الأصابع يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى.

التيار
الفيض

ملاحظات

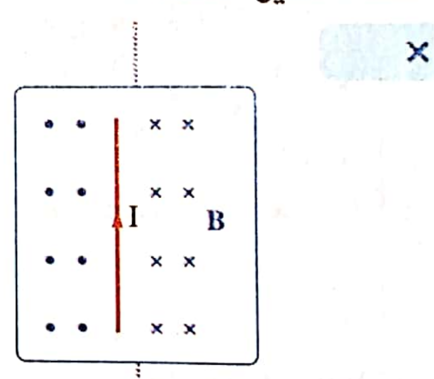
* **ينصح ببناء المساكن بعيدًا عن أبراج الضغط الكهربى العالى،**

لتقليل تأثير المجال المغناطيسى الضار على الصحة والبيئة حيث إن كثافة الفيض المغناطيسى تقل بزيادة البُعد عن مصدر التيار حيث $(B \propto \frac{1}{d})$.

* **عند تحديد اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم عندما يكون السلك :**

(١) فى مستوى الصفحة، تشير العلامة :

× | •

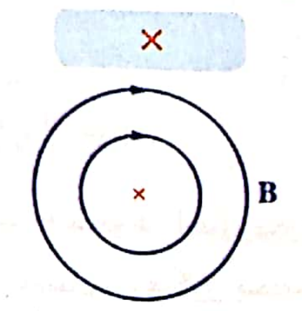


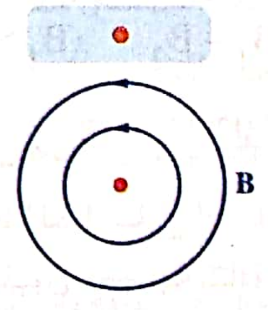
إلى أن خطوط الفيض المغناطيسى

عمودية على الصفحة وإلى الداخل | عمودية على الصفحة وإلى الخارج

(٢) عمودى على مستوى الصفحة، تشير العلامة :

× | •





إلى أن اتجاه التيار

لداخل الصفحة | لخارج الصفحة



مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بُعد 10 cm من محور سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10 A (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

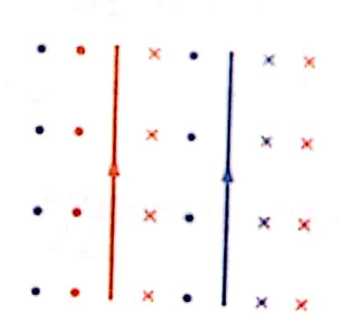
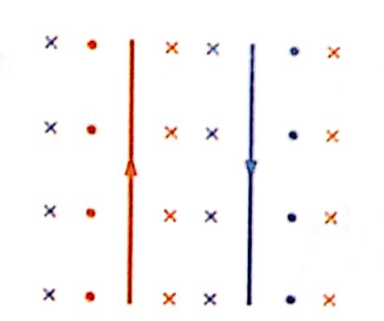
الحل

$d = 0.1$ m | $I = 10$ A | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B = ?$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيارين فى سلكين متوازيين

* إذا كان التياران المارّان فى السلكين :

فى نفس الاتجاه	فى اتجاهين متضادين
شكل المجال	
	
كثافة الفيض عند أى نقطة تقع بين السلكين	
– يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين : $B_t = B_1 - B_2$ (بفرض أن $B_1 > B_2$)	– يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين : $B_t = B_1 + B_2$
كثافة الفيض عند أى نقطة تقع خارج السلكين	
– يكون اتجاه خطوط المجال خارج السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين : $B_t = B_1 + B_2$	– يكون اتجاه خطوط المجال خارج السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين : $B_t = B_1 - B_2$ (بفرض أن $B_1 > B_2$)



نقطة التعادل (نقطة تنعدم عندها كثافة الفيض المغناطيسى)

- تقع فى المنطقة بين السلكين عندما تكون $B_1 = B_2$ وبذلك تكون : $B_t = B_1 - B_2 = 0$

- تقـع خارج المنطقـة بين السـلكين عندما تكون $B_1 = B_2$ وبذلك تكون : $B_t = B_1 - B_2 = 0$

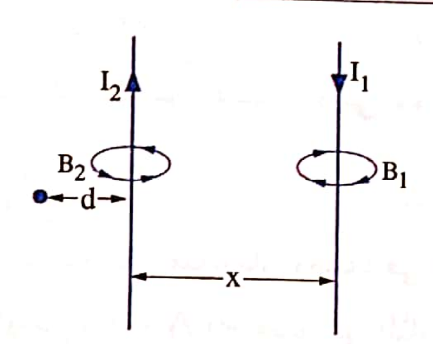
ويمكن حساب بُعد نقطة التعادل كما يلى

$B_t = \text{zero}$

$B_1 = B_2$

$$\mu \frac{I_1}{2\pi (x - d)} = \mu \frac{I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{I_1}{x - d} = \frac{I_2}{d}$$



$B_t = \text{zero}$

$B_1 = B_2$

$$\mu \frac{I_1}{2\pi (x + d)} = \mu \frac{I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{I_1}{x + d} = \frac{I_2}{d}$$

(حيث : (d) بُعد نقطة التعادل عن السلك ذى التيار الأقل)

مما سبق نستنتج أن :

- **إذا مر فى سلكين تياران مختلفان تكون نقطة التعادل دائمًا أقرب للسلك الذى يمر به تيار أقل.**
- **نقطة التعادل لسلكين متوازيين يمر بكل منهما تيار كهربى فى نفس الاتجاه تقع فى المنطقة بين السلكين،**

لتولد مجالين مغناطيسـيين متضادين عند أى نقطة بين السـلكين فتتكـون نقطة التعادل فى المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.

- **نقطـة التعـادل لسـلكين متوازيين يمر بـكل منهما تيـار كهربى فـى اتجاهين متضاديـن تقع خارج المنطقة بين السلكين،**

لتولد مجالين مغناطيسـيين متضادين عند أى نقطة خارج المنطقة بين السـلكين فتتكون نقطة التعادل خارج المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.

- **نقطة التعادل بين سلكين تقع فى منتصف المسافة بينهما،**
عندما يمر فى السلكين نفس التيار وفى نفس الاتجاه.

- **لا تتكون نقطة تعادل لسلكين عند مرور تيار كهربى فيهما إذا مر فى السلكين تياران متساويان ومتضادان فى الاتجاه،**
لأن عند أى نقطة خارج السلكين تكون كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول لا تساوى كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثانى لاختلاف المسافة بين كل من السلكين وتلك النقطة.

مثال ١

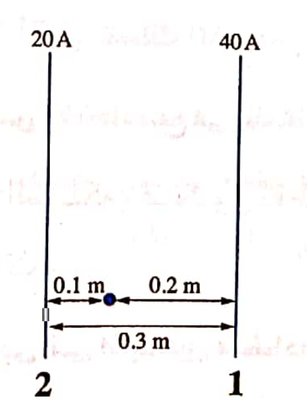
سلكان مستقيمان متوازيان وضعا فى الهواء على بُعد 30 cm من بعضهما، يمر فى أحدهما تيار كهربى شدته 40 A ويمر فى الثانى تيار كهربى شدته 20 A،
احسب كثافة الفيض المغناطيسى المتولد عند نقطة بينهما تبعد 20 cm عن السلك الأول عندما يكون التياران الماران فى السلكين :

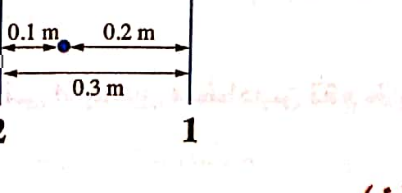
(أ) فى اتجاه واحد.
(ب) فى اتجاهين متضادين.
(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$I_1 = 40$ A | $I_2 = 20$ A | $x = 0.3$ m | $d_1 = 0.2$ m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B_t = ?$





$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 40}{2\pi \times 0.2} = 4 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 0.1} = 4 \times 10^{-5}\ T$$

(أ) $B_t = B_1 - B_2 = \mathbf{0}$

(ب) $B_t = B_1 + B_2 = \mathbf{8 \times 10^{-5}\ T}$

مثال ٢

سلكان مستقيمان متوازيان المسافة بينهما فى الهواء 0.3 m يمر بأحدهما تيار شدته 2 A ويمر بالآخر تيار شدته 3 A، **احسب بُعد نقطة التعادل عن كل من السلكين فى الحالتين الآتيتين :**

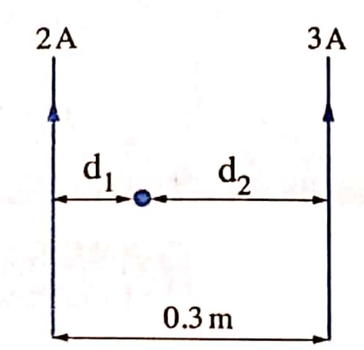
(أ) إذا مر تياران فى السلكين فى نفس الاتجاه.

(ب) إذا مر تياران فى السلكين فى اتجاهين متضادين.

الحل

$x = 0.3\ m$	$I_1 = 2\ A$	$I_2 = 3\ A$	$d_1 = ?$	$d_2 = ?$

(أ)



$B_1 = B_2$

$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}$, $\frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 - d_1}$

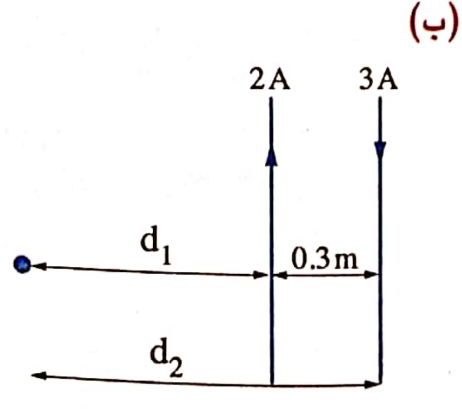
$3 d_1 = 0.6 - 2 d_1$, $5 d_1 = 0.6$

$\therefore d_1 = 0.12\ m$

$\therefore d_2 = 0.3 - 0.12 = 0.18\ m$

∴ نقطة التعادل على بُعد **0.12 m** من السلك الأول و **0.18 m** من السلك الثانى.

(ب)



$B_1 = B_2$

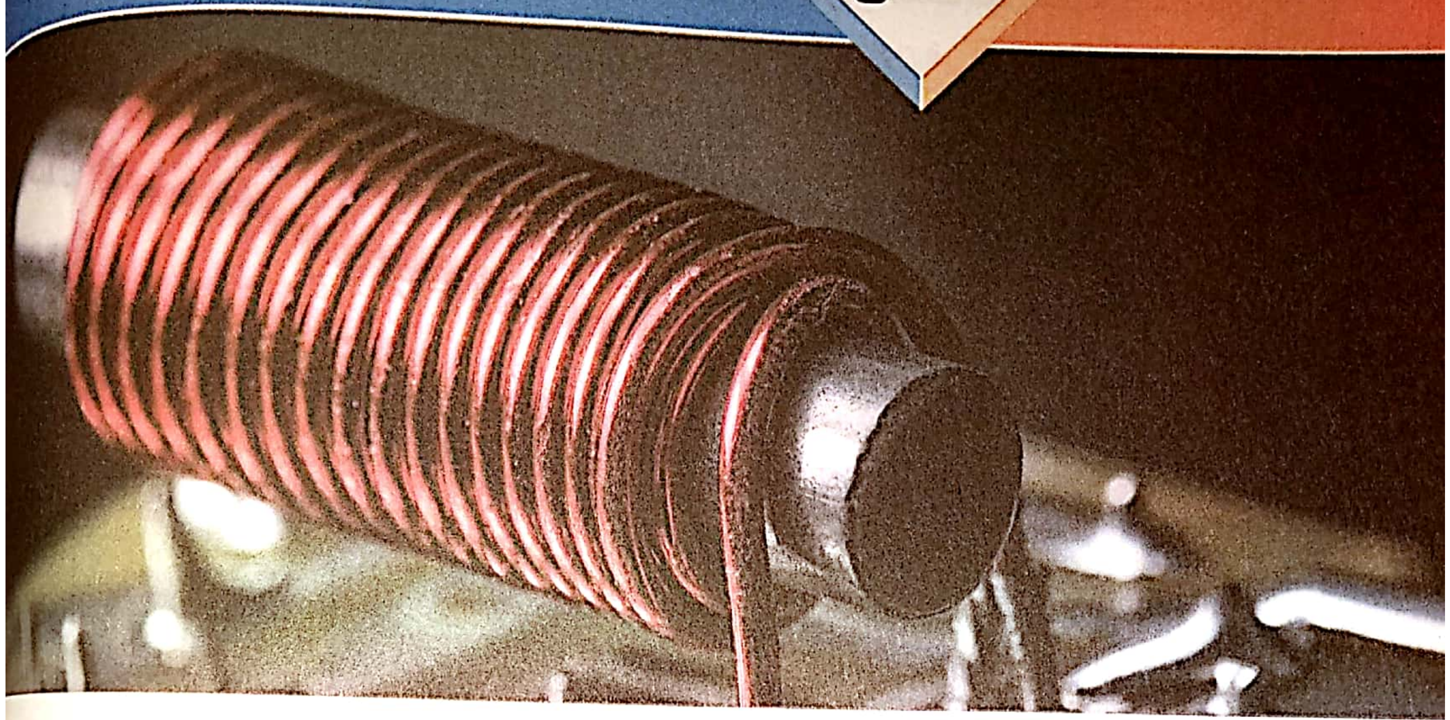
$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}$, $\frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 + d_1}$

$3 d_1 = 0.6 + 2 d_1$, $d_1 = 0.6\ m$

$\therefore d_2 = 0.3 + 0.6 = 0.9\ m$

∴ نقطة التعادل على بُعد **0.6 m** من السلك الأول و **0.9 m** من السلك الثانى.

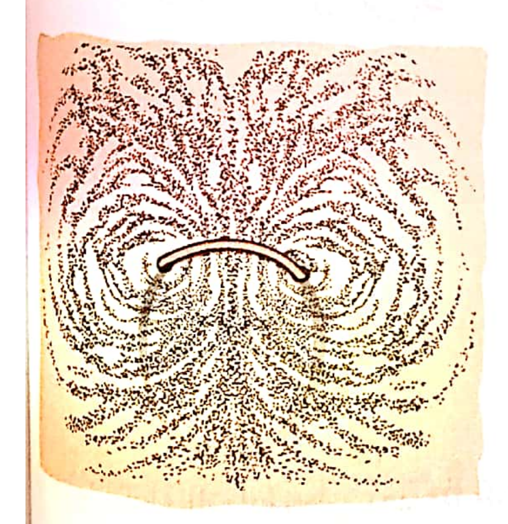




ثانيًا المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى

* عند مرور تيار كهربى فى ملف دائرى فإنه يسبب تولد مجال مغناطيسى داخل الملف وخارجه.

شكل وخواص خطوط الفيض المغناطيسى

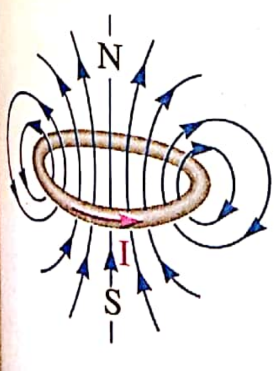


* **للتعرف على شكل خطوط الفيض نجرى الخطوات الآتية :**

1. انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى يخترقه ملف دائرى مستواه عمودى على اللوح ويمر به تيار كهربى.
2. اطرق لوح الورق المقوى طرقات خفيفة.

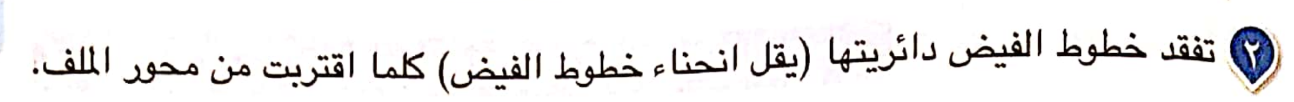
* **الملاحظة :**

تترتب برادة الحديد على شكل دوائر تفقد دائريتها كلما اقتربت من محور الملف.

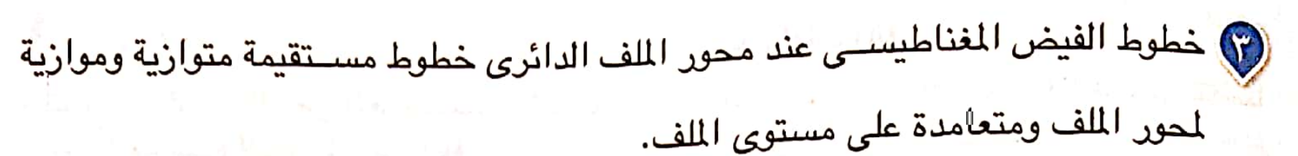


* **الاستنتاج :**

1. ترتيب برادة الحديد يعبر عن شكل خطوط الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى الملف الدائرى.



٢ تفقد خطوط الفيض دائريتها (يقل انحناء خطوط الفيض) كلما اقتربت من محور الملف.



٣ خطوط الفيض المغناطيسى عند محور الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية وموازية لمحور الملف ومتعامدة على مستوى الملف.

٤ المجال المغناطيسى الناشئ عن ملف دائرى يمر به تيار كهربى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقرص مصمت له قطبان مستديران (مغناطيس قصير).

٥ تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.

ملحوظة

* لا يوجد فى الطبيعة أقطاب منفردة فدائمًا يوجد لأى مغناطيس قطبان أحدهما شمالى والآخر جنوبى وبالتالى الملف الدائرى الذى يمر به تيار كهربى يكافئ ثنائى قطب مغناطيسى.

حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* **إذا مر تيار كهربى شدته I فى ملف دائرى نصف قطره r وعدد لفاته N، فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى :**

- تتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف : $B \propto I$
- تتناسب طرديًا مع عدد لفات الملف : $B \propto N$
- تتناسب عكسيًا مع نصف قطر الملف : $B \propto \frac{1}{r}$

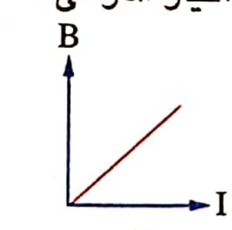
$\therefore B \propto \frac{NI}{r}$ $\therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{r}$

$$\therefore \mathbf{B = \mu \frac{NI}{2r}}$$

العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى

١ شدة التيار :

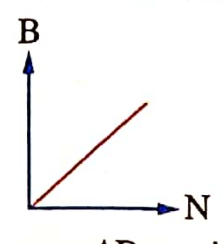
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.



$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu N}{2r}$$

٢ عدد لفات الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.

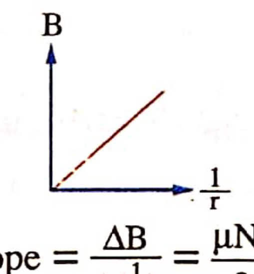


$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta N} = \frac{\mu I}{2r}$$

$$B = \mu \frac{NI}{2r}$$

٣ نصف قطر الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **عكسيًا** مع نصف قطر الملف.

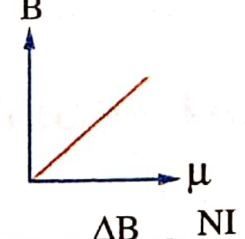


$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta(\frac{1}{r})} = \frac{\mu NI}{2}$$

٤ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

(ثابت للوسط الواحد)

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.



$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{NI}{2r}$$

تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى

١ قاعدة البريمة اليمنى

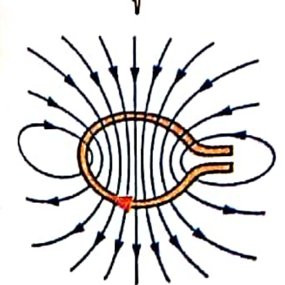
الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

عند دوران بريمة باليد اليمنى عند مركز الملف بحيث يشير اتجاه دورانها لاتجاه التيار فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى عند مركز الملف.

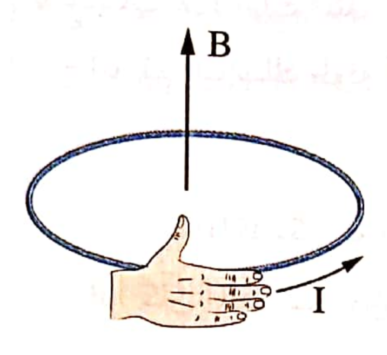




٢ قاعدة اليد اليمنى لأمبير

الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى.



نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

إذا كان اتجاه أصابع اليد اليمنى (ماعدا الإبهام) يشير إلى اتجاه التيار فإن الإبهام يشير إلى اتجاه الفيض المغناطيسى.

٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

الاستخدام :

تحديد نوع القطب فى كل من وجهى ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

إذا كان اتجاه التيار فى أحد وجهى الملف :

فى نفس اتجاه حركة عقارب الساعة	فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة
يكون هذا الوجه قطبًا جنوبيًا  S	يكون هذا الوجه قطبًا شماليًا  N

ويكون اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى بحيث تخرج من القطب الشمالى وتدخل إلى القطب الجنوبى خارج الملف

مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11 cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربى شدته 1.4 A (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$r = 0.11$ m	$N = 20$	$I = 1.4$ A	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	**B = ?**

$$B = \frac{\mu N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11} = \mathbf{1.6 \times 10^{-4}\ T}$$

إرشاد

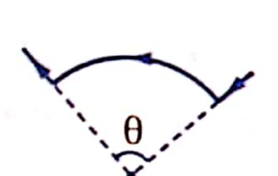
* حساب عدد لفات الملف (N) :

- إذا تم لف سلك طوله l على شكل ملف دائرى نصف قطره r، فإن :

$$N = \frac{\text{طول السلك}}{\text{محيط اللفة الواحدة}} = \frac{l}{2\pi r}$$

حيث : (N) قد يكون عدد صحيح أو غير صحيح.

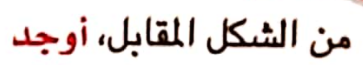
- إذا كان الملف جزء من دائرة، فإن :



$$N = \frac{\theta}{360}$$

حيث : (θ) الزاوية المركزية المواجهة لسلك الملف.

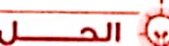
مثال



من الشكل المقابل، أوجد

كثافة الفيض المغناطيسي عند النقطة P

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)



الحل

$I = 40$ A	$r = 2 \times 10^{-2}$ m	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B = ?$

$\theta = 360 - 90 = 270°$

$N = \frac{\theta}{360} = \frac{270}{360} = 0.75$ لفة

$$B = \mu \frac{NI}{2r} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{0.75 \times 40}{2 \times 2 \times 10^{-2}} = 9.43 \times 10^{-4}\ T$$

إرشاد

* فى حالة إعادة تشكيل ملف دائرى عدد لفاته N_1 ليصبح N_2 ثم توصيله بنفس المصدر :

∵ طول السلك ثابت.

$$\therefore 2\pi r_1 N_1 = 2\pi r_2 N_2$$

$$\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



تيار كهربى شدته I يمر فى ملف دائرى مكون من ثلاث لفات فكانت كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف 1.2×10^{-4} T، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف إذا أُعيد لف الملف ليصبح مكون من ست لفات بحيث يمر به نفس شدة التيار.

الحل

$N_1 = 3$ | $B_1 = 1.2 \times 10^{-4}$ T | $N_2 = 6$ | $B_2 = ?$

∵ طول سلك الملف ثابت.

$$\therefore 2\pi r_1 N_1 = 2\pi r_2 N_2 \qquad \therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$$

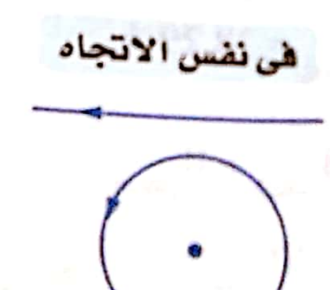
$$\frac{1.2 \times 10^{-4}}{B_2} = \frac{(3)^2}{(6)^2}$$

$$B_2 = 4.8 \times 10^{-4}\ \text{T}$$

إرشاد

- لتعيين محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى موضوع على بُعد معين من سلك مستقيم وفى نفس مستواه ويمر بكل منهما تيار كهربى مستمر إذا كان مجال كل من السلك والملف :

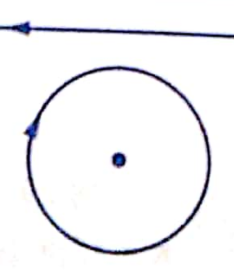
فى نفس الاتجاه



$$B_t = B_{(\text{ملف})} + B_{(\text{سلك})}$$

فإن

فى اتجاهين متضادين

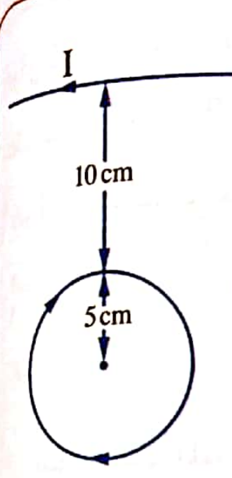


$$B_t = B_{(\text{ملف})} - B_{(\text{سلك})} \quad (B_{(\text{ملف})} > B_{(\text{سلك})})$$

$$B_t = B_{(\text{سلك})} - B_{(\text{ملف})} \quad (B_{(\text{سلك})} > B_{(\text{ملف})})$$

مثال

ملف دائرى عدد لفاته 3 لفات ونصف قطره 5 cm يمر به تيار 1 A يوجد على بُعد 10 cm منه سلك مستقيم طويل فى نفس المستوى يمر به تيار كهربى كما بالشكل، **احسب :**



(أ) شدة التيار المار فى السلك التى تجعل كثافة الفيض عند مركز الملف الدائرى تنعدم.

(ب) قيمة كثافة الفيض عند مركز الملف إذا عكس اتجاه التيار المار فى السلك.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$N = 3$	$r = 5$ cm	$I_{(ملف)} = 1$ A	$d = 15$ cm
$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$I_{(سلك)} = ?$	$B_t = ?$	

(أ)

$\because B_t = 0$

$\therefore B_{(ملف)} = B_{(سلك)}$

$$\mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} = \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d}$$

$$\frac{3 \times 1}{5} = \frac{I_{(سلك)}}{\pi \times 15}$$

$\therefore I_{(سلك)} = $ **28.29 A**

(ب)

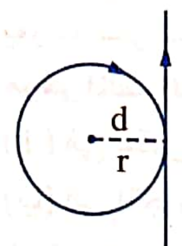
$B_t = B_{(ملف)} + B_{(سلك)}$

$$= \mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} + \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d} = 2\pi \times 10^{-7} \left(\frac{3 \times 1}{5 \times 10^{-2}} + \frac{28.29}{\pi \times 15 \times 10^{-2}}\right)$$

$= $ **7.54×10^{-5} T**

إرشاد

* فى حالة ملف دائرى يمس سلك مستقيم وفى نفس مستواه بحيث تنعدم كثافة الفيض عند المركز :



$$B_{(ملف)} = B_{(سلك)}$$

$$\frac{\mu N I_{(ملف)}}{2r} = \frac{\mu I_{(سلك)}}{2\pi d} \quad , \quad r = d$$

$$N I_{(ملف)} = \frac{I_{(سلك)}}{\pi}$$

مثال ١

وضع سلك مستقيم رأسيًا بحيث يكون مماسًا لملف دائرى مكون من لفة واحدة وفى نفس مستواه، ثم وضع عند مركز الملف إبرة مغناطيسية حرة الحركة فى مستوى أفقى، **احسب** شدة التيار الكهربى الذى إذا مر فى السلك لا يسبب أى انحراف للإبرة عندما يمر فى الملف الدائرى تيار شدته 0.21 A

الحل

$I_{(ملف)} = 0.21\ A$	$N = 1$	$I_{(سلك)} = ?$

* لا تنحرف الإبرة المغناطيسية عندما تكون محصلة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف والسلك مساوية للصفر :

$$B_{(سلك)} = B_{(ملف)}$$

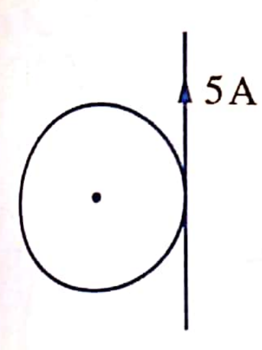
$$\mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d} = \mu \frac{N I_{(ملف)}}{2r}$$

$$\frac{I_{(سلك)}}{\pi} = N I_{(ملف)}$$

$$\frac{I_{(سلك)} \times 7}{22} = 1 \times 0.21$$

$$\mathbf{I_{(سلك)} = 0.66\ A}$$

مثال ٢



في الشكل المقابل ملف دائرى مكون من لفة واحدة نصف قطره 5 cm ويمر به تيار شدته 3 A وضع ملامسًا لسلك مستقيم يمر به تيار شدته 5 A، **احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى إذا كان اتجاه التيار المار فيه :**

(أ) فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

(ب) فى اتجاه عقارب الساعة.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$N = 1$ | $I_{(ملف)} = 3\ A$ | $I_{(سلك)} = 5\ A$ | $r = d = 5 \times 10^{-2}\ m$

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m$ | $B_t = ?$

$$B_{(ملف)} = \mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1 \times 3}{2 \times 5 \times 10^{-2}} = 3.77 \times 10^{-5}\ T$$

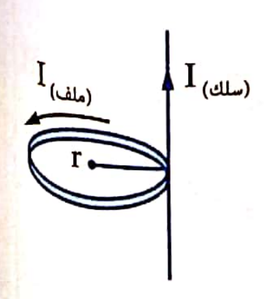
$$B_{(سلك)} = \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{5}{2\pi \times 5 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

(أ)
$$B_t = B_{(ملف)} + B_{(سلك)} = (3.77 \times 10^{-5}) + (2 \times 10^{-5})$$
$$= \mathbf{5.77 \times 10^{-5}\ T}$$

(ب)
$$B_t = B_{(ملف)} - B_{(سلك)} = (3.77 \times 10^{-5}) - (2 \times 10^{-5})$$
$$= \mathbf{1.77 \times 10^{-5}\ T}$$

إرشاد

* فى حالة ملف دائرى يمس سلك مستقيم بحيث يكون السلك موازى لمحور الملف الدائرى (أو السلك عمودى على مستوى الملف الدائرى) ويمر بكل منهما تيار كهربى يكون المجال المغناطيسى لكل من السلك والملف متعامدين عند مركز الملف وتكون كثافة الفيض المحصلة عند مركز الملف الدائرى :



$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(ملف)}}$$



مثال

وضع سلك مستقيم رأسيًا بحيث يكون مماسًا لملف دائرى يتكون من لفة واحدة وموازيًا لمحور الملف، فإذا مر تيار كهربى فى كل من السلك والملف شدته على الترتيب 20 A ، 5 A، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف علمًا بأن نصف قطر الملف 20 cm

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$N = 1$ | $I_{(سلك)} = 20$ A | $I_{(ملف)} = 5$ A | $r = d = 20 \times 10^{-2}$ m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B_t = ?$

$$B_{(سلك)} = \frac{\mu I_{(سلك)}}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_{(ملف)} = \frac{\mu N I_{(ملف)}}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 5}{2 \times 20 \times 10^{-2}} = 1.57 \times 10^{-5}\ T$$

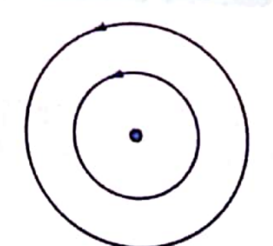
$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(ملف)}} = \sqrt{(2 \times 10^{-5})^2 + (1.57 \times 10^{-5})^2}$$

$$= \mathbf{2.54 \times 10^{-5}\ T}$$

إرشاد

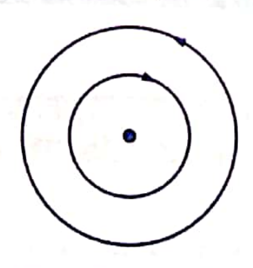
* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك وفى نفس المستوى ويحملان تيارين :

فى نفس الاتجاه فإن



$B_t = B_1 + B_2$

فى اتجاهين متضادين

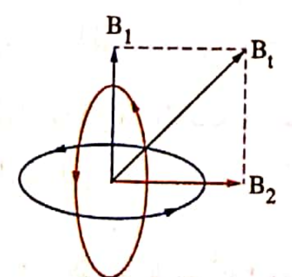


$B_t = B_1 - B_2$

(بفرض أن $B_1 > B_2$)

* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك ومتعامدين :

$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$



مثال

ملفان دائريان متحدا المركز ولهما نفس المستوى، الملف الأول نصف قطره 40 cm وعدد لفاته 300 لفة ويمر به تيار شدته 10 A والملف الثانى نصف قطره 30 cm وعدد لفاته 400 لفة ويمر به تيار شدته 6 A فى نفس اتجاه الأول، **أوجد كثافة الفيض المغناطيسى الكلى عند :**

(أ) مركز الملفين.

(ب) المركز المشترك عندما يدور أحد الملفين بحيث يصبح مستويا الملفين متعامدين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\,\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$r_1 = 0.4$ m | $N_1 = 300$ | $I_1 = 10$ A | $r_2 = 0.3$ m | $N_2 = 400$

$I_2 = 6$ A | $\mu = 4\,\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B_t = ?$

$$B_1 = \mu \frac{N_1 I_1}{2\,r_1} = 4\,\pi \times 10^{-7} \times \frac{300 \times 10}{2 \times 0.4} = 4.71 \times 10^{-3}\ \text{T}$$

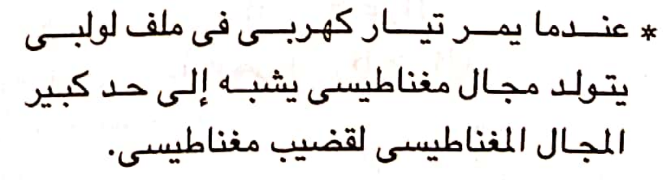
$$B_2 = \mu \frac{N_2 I_2}{2\,r_2} = 4\,\pi \times 10^{-7} \times \frac{400 \times 6}{2 \times 0.3} = 5.03 \times 10^{-3}\ \text{T}$$

(أ) $B_t = B_1 + B_2 = (4.71 + 5.03) \times 10^{-3} = 9.74 \times 10^{-3}\ \text{T}$

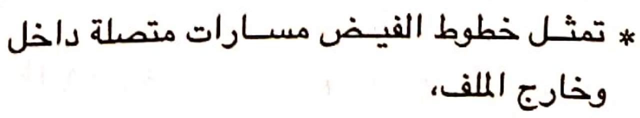
(ب) $B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(4.71 \times 10^{-3})^2 + (5.03 \times 10^{-3})^2} = 6.89 \times 10^{-3}\ \text{T}$

ثالثًا المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف لولبى (حلزونى)

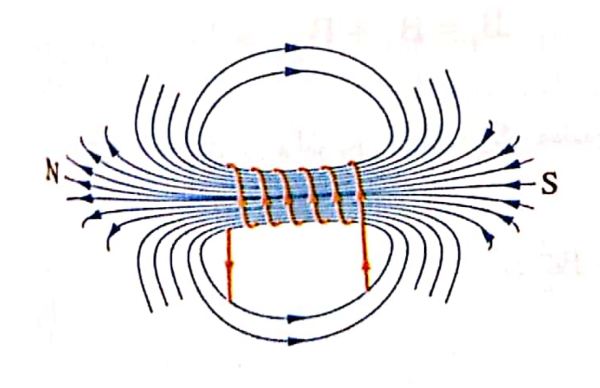
شكل خطوط الفيض المغناطيسى



* عندما يمر تيار كهربى فى ملف لولبى يتولد مجال مغناطيسى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.



* تمثل خطوط الفيض مسارات متصلة داخل وخارج الملف،



أى أن : كل خط بمثابة مسار مغلق.



حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* عند مرور تيار كهربى شدته I فى ملف لولبى طوله ℓ وعدد لفاته N، فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على محور الملف اللولبى :

- تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى المار فى الملف اللولبى : $B \propto I$
- تتناسب طرديًا مع عدد لفات الملف اللولبى : $B \propto N$
- تتناسب عكسيًا مع طول الملف اللولبى : $B \propto \frac{1}{\ell}$

$\therefore B \propto \frac{NI}{\ell}$ $\quad \therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{\ell}$ $\quad \therefore$ $$B = \mu \frac{NI}{\ell} = \mu n I$$

حيث : (n) عدد اللفات لوحدة الأطوال من الملف وتتعين من العلاقة : $$n = \frac{N}{\ell}$$

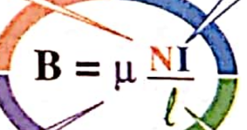
العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى

١ شدة التيار :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.

$slope = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu N}{\ell}$

٢ عدد لفات الملف :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا طرديًا مع عدد لفات الملف.

$slope = \frac{\Delta B}{\Delta N} = \frac{\mu I}{\ell}$



٣ طول الملف :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **عكسيًا** مع طول الملف.

$slope = \frac{\Delta B}{\Delta(\frac{1}{\ell})} = \mu N I$

٤ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :
(ثابت للوسط الواحد)
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

$slope = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{NI}{\ell}$

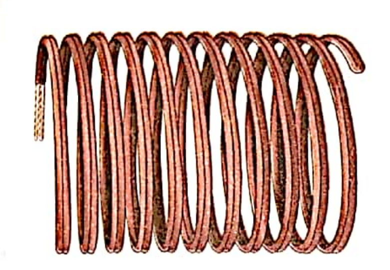
ملاحظات

* **عند وضع ساق حديدية داخل ملف لولبي يمر به تيار كهربي تزداد كثافة الفيض المغناطيسي عند أي نقطة على محور الملف،**

لأن معامل النفاذية المغناطيسية للحديد أكبر من معامل النفاذية المغناطيسية للهواء.

* **قد لا يتولد مجال مغناطيسي نتيجة مرور التيار في ملف دائري أو لولبي،**

لأن الملف الدائري أو اللولبي قد يكون ملفوف لفًا مزدوجًا فيصبح الفيض المغناطيسي الناتج عن مرور التيار في اتجاه عكس الفيض المغناطيسي الناتج عن مرور نفس التيار في الاتجاه المضاد فيلاشي تأثير كل منهما الآخر.



تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي

١ قاعدة أمبير لليد اليمنى

الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ داخل ملف لولبي يمر به تيار كهربي.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

تخيل أنك تقبض على الملف باليد اليمنى بحيث يشير اتجاه التفاف أصابع اليد إلى اتجاه التيار فيشير الإبهام لاتجاه خطوط الفيض داخل الملف.



٢ قاعدة البريمة اليمنى

الاستخدام :

تحديد اتجاه الفيض المغناطيسي عند محور ملف لولبي (حلزوني) يمر به تيار كهربي.

طريقة الاستخدام :

كما سبق في الملف الدائري باعتبار أن الملف اللولبي يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور.



٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

الاستخدام :

تحديد نوع القطب فى كل من وجهى ملف لولبى يمر به تيار كهربى.

طريقة الاستخدام :

كما سبق فى الملف الدائرى.

مثال ١

ملف لولبى طوله 20 cm يتكون من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وتقع عند منتصف محوره.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$B = ?$	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$I = 0.7$ A	$N = 800$	$\ell = 0.2$ m

$$B = \mu \frac{NI}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{0.2} = 3.52 \times 10^{-3}\ \text{T}$$

مثال ٢

احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى فى ملف يتكون من 800 لفة وطوله 20 cm تساوى 0.815 T فى حالة وجود قلب من الحديد داخله.

(علمًا بأن : النفاذية المغناطيسية للحديد 1.63×10^{-2} Wb/A.m)

الحل

$I = ?$	$\mu = 1.63 \times 10^{-2}$ Wb/A.m	$B = 0.815$ T	$\ell = 0.2$ m	$N = 800$

$$B = \mu \frac{NI}{\ell}$$

$$I = \frac{B\ell}{\mu N} = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125\ \text{A} = 12.5\ \text{mA}$$

إرشاد

* إذا كانت لفات الملف متماسة معًا، فإن طول الملف : $\ell = N \times 2r'$

حيث : (r') نصف قطر سلك الملف.



مثال

سلك معزول نصف قطره 0.3 cm لف حول قلب من الحديد المطاوع نفاذيته المغناطيسية 2×10^{-3} Wb/A.m بحيث تكون اللفات متماسة معًا على طول القلب الحديدى، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند منتصف محور الملف علمًا بأن شدة التيار المار فى الملف 10 A .

الحل

$r` = 0.3 \times 10^{-2}$ m	$\mu = 2 \times 10^{-3}$ Wb/A.m	$I = 10$ A	$B = ?$

∵ اللفات متماسة.

$\therefore \ell = 2Nr`$

$$B = \frac{\mu NI}{\ell} = \frac{\mu NI}{2Nr`} = \frac{\mu I}{2r`} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 10}{2 \times 0.3 \times 10^{-2}} = 3.33 \text{ T}$$

إرشاد

* إذا تم قطع جزء من ملف كان متصل بمصدر جهد ثم أعيد توصيل الجزء المتبقى من اللفات بنفس المصدر مع الاحتفاظ بالمسافة بين اللفات ثابتة، فإن :

عدد اللفات لوحدة الأطوال (n)

يظل ثابت لأن كل من عدد لفات الملف وطول الملف يقل بنفس النسبة.

$$\because \frac{N_1}{\ell_1} = \frac{N_2}{\ell_2}$$

$$\therefore n_1 = n_2$$

شدة التيار المار فى الملف (I)

تزداد لأن طول سلك الملف يقل وتبعًا للعلاقة $(R = \frac{\rho_e \ell}{A})$ فإن مقاومة الملف تقل، وحيث إن فرق الجهد بين طرفى المصدر ثابت وتبعًا للعلاقة $(I = \frac{V}{R})$، فإن شدة التيار تزداد،

أى أن :

$$I \propto \frac{1}{R} \propto \frac{1}{\ell}$$

$$\because B = \mu n I$$

∵ كل من μ ، n ثابت

$$\therefore B \propto I \propto \frac{1}{\ell}$$



ملف لولبى طوله 44 cm وعدد لفاته 21 لفة يمر به تيار كهربى شدته 1 A ، فإذا قُطع ثلث الملف ووصل الباقى بنفس البطارية، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند منتصف محور الملف فى هذه الحالة (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$\ell_1 = 44$ cm | $N_1 = 21$ | $I_1 = 1$ A | $\ell_2 = \frac{2}{3}\ell_1$

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B_2 = ?$

$$B_1 = \frac{\mu N I}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 21 \times 1}{44 \times 10^{-2}} = 6 \times 10^{-5}\ T$$

$\because$ كل من عدد لفات الملف وطول الملف قل بنفس النسبة.

$$\therefore \frac{N_1}{\ell_1} = \frac{N_2}{\ell_2}$$

$$\because R = \frac{\rho_e \ell}{A}$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{\ell_1}{\frac{2}{3}\ell_1} = \frac{3}{2}$$

$$\because I = \frac{V}{R} \quad , \quad V_1 = V_2$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3}$$

$$\because B = \mu n I$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\therefore \frac{6 \times 10^{-5}}{B_2} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore B_2 = 9 \times 10^{-5}\ T$$

إرشاد

* محصلة كثافة الفيض عند منتصف المحور فى حالة ملفين لهما محور مشترك ويحملان تيارين :

فى نفس الاتجاه	فى اتجاهين متضادين
$B_t = B_1 + B_2$	$B_t = B_1 - B_2\ (B_1 > B_2)$

مثال ١

ملفـان لولبيـان أحدهما داخل الآخر لهما محور مشـترك، تحتوى وحـدة الأطوال من الملف الداخلـى علـى 10 لفات ومن الملف الخارجى على 20 لفة فإذا كان تيار الملف الداخلى 2 A والخارجى 4 A، **احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخلهما على المحور المشترك عندما يكون التياران :**

(أ) فى نفس الاتجاه. (ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$n_1 = 10$ turn/m	$n_2 = 20$ turn/m	$I_1 = 2$ A	$I_2 = 4$ A
$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B_t = ?$		

$B_1 = \mu n_1 I_1 = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 2 = 25.14 \times 10^{-6}$ T

$B_2 = \mu n_2 I_2 = 4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 4 = 100.57 \times 10^{-6}$ T

(أ) $B_t = B_1 + B_2 = \mathbf{125.71 \times 10^{-6}}$ **T**

(ب) $B_t = B_2 - B_1 = \mathbf{75.43 \times 10^{-6}}$ **T**

مثال ٢

ملف حلزونى طوله 50 cm وعدد لفاته 100 لفة يمر به تيار 2 A وضع عند منتصفه تمامًا ملف دائرى عـدد لفاتـه 20 لفة ونصـف قطره 15 cm ويمر به تيـار 1 A بحيث ينطبق محور الملف الدائرى على محور الملف الحلزونى، **احسب كثافة الفيض عند المركز المشترك إذا كان التياران :**

(أ) فى نفس الاتجاه. (ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$\ell_1 = 0.5$ m	$N_1 = 100$	$I_1 = 2$ A	$N_2 = 20$	$I_2 = 1$ A
$r_2 = 0.15$ m	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B_t = ?$		



$$B_{(\text{حلزونى})} = \mu \frac{N_1 I_1}{\ell_1}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{100 \times 2}{0.5}$$

$$= 5.03 \times 10^{-4}\ T$$

$$B_{(\text{دائرى})} = \mu \frac{N_2 I_2}{2 r_2}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 1}{2 \times 0.15}$$

$$= 8.38 \times 10^{-5}\ T$$

(أ)

$$B_t = B_{(\text{حلزونى})} + B_{(\text{دائرى})}$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) + (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= \mathbf{5.868 \times 10^{-4}\ T}$$

(ب)

$$B_t = B_{(\text{حلزونى})} - B_{(\text{دائرى})}$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) - (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= \mathbf{4.192 \times 10^{-4}\ T}$$

إرشاد

* عند إبعاد لفات الملف الدائرى عن بعضها بانتظام يصبح ملف لولبى له نفس عدد لفات الملف الدائرى ويمر به نفس التيار المار فى الملف الدائرى

ويمكن المقارنة بينهما طبقًا للعلاقة :

$$\frac{B_{(\text{دائرى})}}{B_{(\text{لولبى})}} = \frac{\ell_{(\text{لولبى})}}{2 r_{(\text{دائرى})}}$$

مثال

ملف دائرى نصف قطره 5 cm يمر فيه تيار يولد مجالًا مغناطيسيًا كثافة فيضه 3×10^{-2} T

فإذا أبعدت لفات الملف عن بعضها بانتظام حتى أصبح طوله 30 cm،

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة تقع عند منتصف محوره.

الحل

$B_{(\text{لولبى})} = ?$ | $\ell_{(\text{لولبى})} = 30\ cm$ | $B_{(\text{دائرى})} = 3 \times 10^{-2}\ T$ | $r_{(\text{دائرى})} = 5\ cm$

$$\frac{B_{(دائرى)}}{B_{(لولبى)}} = \frac{l_{(لولبى)}}{2r_{(دائرى)}} \quad , \quad \frac{3 \times 10^{-2}}{B_{(لولبى)}} = \frac{30}{2 \times 5}$$

$$B_{(لولبى)} = 10^{-2}\ T$$

إرشاد

• فى حالة وضع سلك مستقيم عموديًا على (أو موازيًا لـ) محور ملف لولبى يحمل كل منهما تيارًا (المجالان متعامدان) فإن محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة تقع على محور الملف اللولبى وتبعد مسافة معينة عن السلك المستقيم :

$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(لولبى)}}$$

مثال

فى الشكل المقابل سلك مستقيم موازى لمحور ملف لولبى ويبعد مسافة 20 cm عن محور الملف ويمر بكل منهما تيار كهربى فإذا كان عدد لفات الملف اللولبى فى وحدة الأطوال 100 لفة، احسب محصلة كثافة الفيض عند منتصف محور الملف.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

50 A

0.7 A

الحل

$I_{(سلك)} = 50$ A , $I_{(لولبى)} = 0.7$ A , $d = 20 \times 10^{-2}$ m , $n = 100$ turn/m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m , $B_t = ?$

$$B_{(سلك)} = \frac{\mu I_{(سلك)}}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_{(لولبى)} = \mu n I_{(لولبى)} = 4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 0.7 = 8.8 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(لولبى)}} = \sqrt{(5 \times 10^{-5})^2 + (8.8 \times 10^{-5})^2}$$

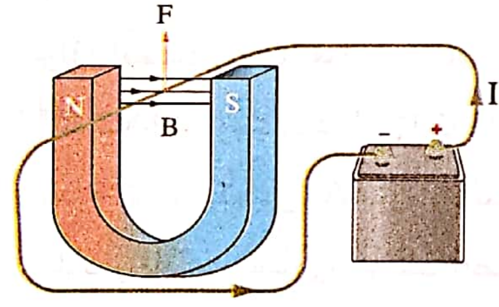
$$= 1.01 \times 10^{-4}\ T$$





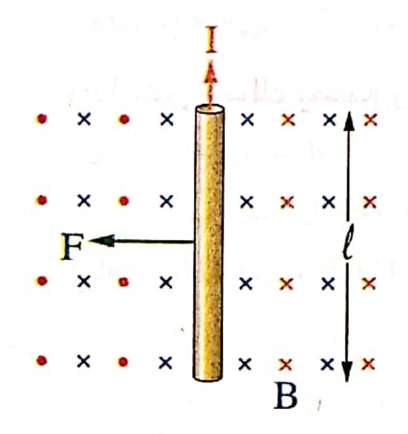
القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال

* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى منتظم بحيث يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى تنشأ قوة مغناطيسية تؤثر على السلك (تكون عمودية على اتجاه التيار الكهربى وعلى اتجاه المجال).



لاختلاف محصلة كثافة الفيض المغناطيسى على جانبى السلك والناشئة عن الفيض المغناطيسى الأصلى والفيض المغناطيسى الناتج عن مرور تيار كهربى بالسلك.

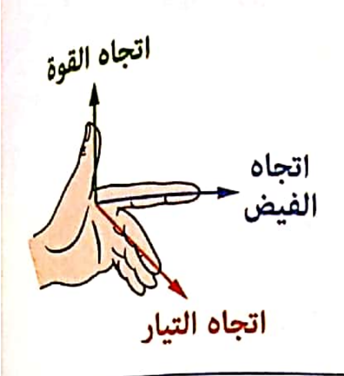
* إذا كان السلك حر الحركة تؤدى هذه القوة إلى حركة السلك من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض المغناطيسى إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض المغناطيسى، ويمكن تحديد اتجاه هذه القوة باستخدام **قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.**



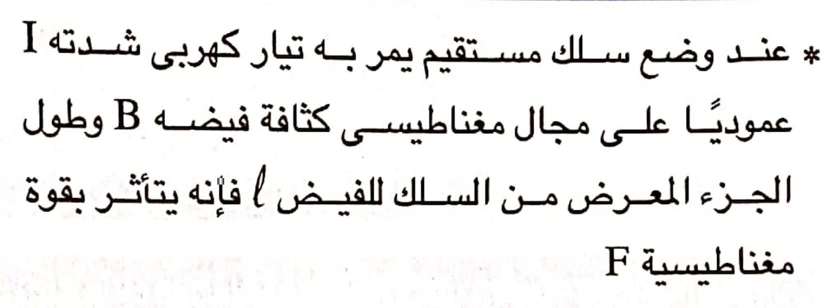
قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

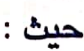
اجعل الإبهام والسبابة فى اليد اليسرى متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع فإذا كانت السبابة تشير لاتجاه الفيض وباقى الأصابع (ماعدا الإبهام) تشير لاتجاه التيار فإن الإبهام يشير لاتجاه القوة المغناطيسية وبالتالى إلى اتجاه حركة السلك.



حساب القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى فيض مغناطيسى



* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى شدته I عموديًا على مجال مغناطيسى كثافة فيضه B وطول الجزء المعرض من السلك للفيض ℓ فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية F

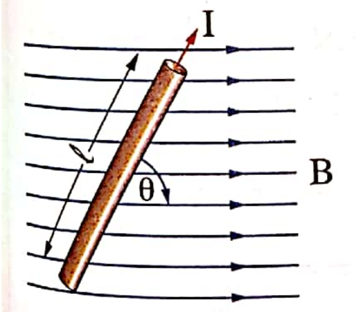


حيث :

$$F \propto B \quad , \quad F \propto I \quad , \quad F \propto \ell$$

$$\therefore F \propto BI\ell \qquad \therefore F = \text{constant} \times BI\ell$$

وإذا اتُخذت وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسى (B) التسلا (T) ووحدة قياس القوة النيوتن (N) ووحدة قياس شدة التيار الأمبير (A) ووحدة قياس الطول المتر (m) فإن المقدار الثابت يساوى الواحد الصحيح.



$$\therefore F = BI\ell$$

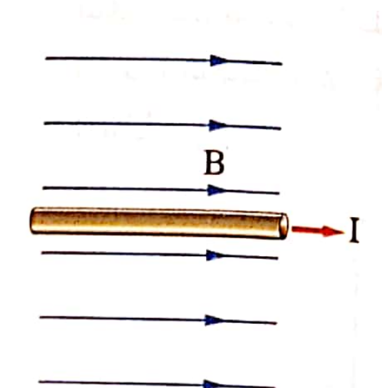
وإذا كان السلك يصنع زاوية θ مع الفيض تصبح العلاقة :

$$F = BI\ell \sin\theta$$

وبالتالى إذا كان

السلك موازى لاتجاه خطوط الفيض

$(\theta = 0°)$



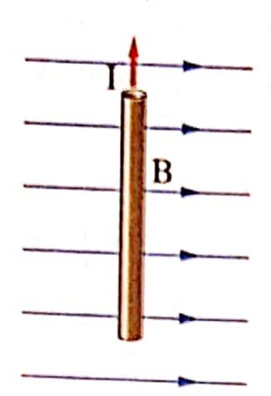
فإن

$$F = BI\ell \sin 0 = 0$$

أى تنعدم القوة المؤثرة على السلك

السلك عمودى على اتجاه خطوط الفيض

$(\theta = 90°)$



$$F = BI\ell \sin 90 = BI\ell$$

أى تصبح القوة المؤثرة على السلك قيمة عظمى

* مما سبق يمكن تعريف كثافة الفيض المغناطيسى ووحدة قياسها التسلا (T) والتى تكافئ نيوتن/أمبير.متر (N/A.m) كالتالى :

كثافة الفيض المغناطيسى (B)

مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A موضوع عموديًا على الفيض المغناطيسى عند تلك النقطة.

التسلا (T)

كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها 1 N على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A عندما يكون السلك عموديًا على خطوط الفيض المغناطيسى.

ملحوظة

* **إذا مر تيار كهربى فى كل من ملف لولبى وسلك مستقيم منطبق على محور الملف فإن السلك لا يتأثر بقوة مغناطيسية،**

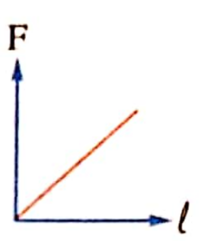
لأنه عند مرور تيار كهربى فى ملف لولبى تكون خطوط الفيض المغناطيسى عند محور الملف متوازية وموازية لمحور الملف فيكون السلك موازيًا لخطوط المجال الكهربى

أى أن : $(\theta = 0°)$ وتبعًا للعلاقة $(F = BI\ell \sin \theta)$ تصبح القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك مساوية للصفر.

العوامل التى تتوقف عليها القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

١ طول السلك :

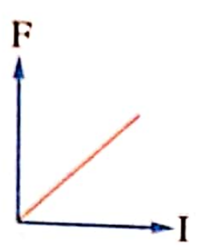
تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا طرديًا مع طول السلك.



$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta \ell} = BI \sin\theta$$

٢ شدة التيار :

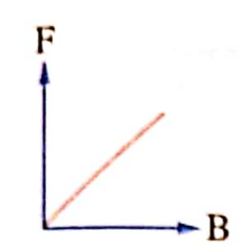
تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا طرديًا مع شدة التيار المار فى السلك.



$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta I} = B \ell \sin\theta$$

٣ كثافة الفيض المغناطيسى :

تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا طرديًا مع كثافة الفيض المغناطيسى.

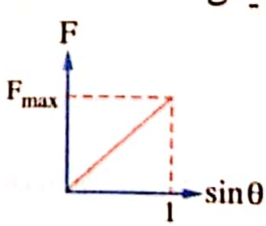


$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta B} = I\ell \sin\theta$$

$$F = BI\ell \sin\theta$$

٤ الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض :

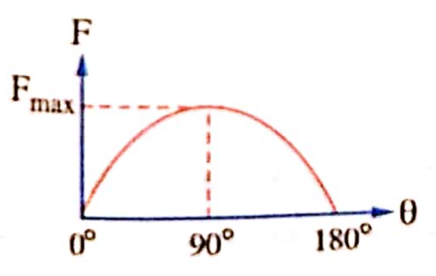
تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا طرديًا مع جيب الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض.



$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta \sin\theta} = BI\ell$$

أو

تمثل العلاقة بين القوة المغناطيسية والزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض بمنحنى جيبى.





مثال

سلك مستقيم طوله 20 cm يمر به تيار كهربى شدته 3 A وموضوع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 2×10^{-2} T، **احسب القوة المؤثرة عليه فى الحالات الآتية :**

(أ) إذا كان السلك موازيًا لاتجاه المجال.

(ب) إذا كان السلك عموديًا على اتجاه المجال.

(جـ) إذا كان السلك يصنع زاوية °30 مع اتجاه المجال.

الحل

$\ell = 0.2$ m | $I = 3$ A | $B = 2 \times 10^{-2}$ T | **F = ?**

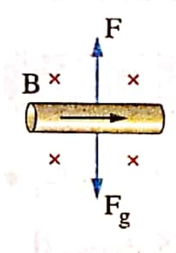
$$F = BI\ell \sin\theta$$

(أ) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 0 = \mathbf{0}$

(ب) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 90 = \mathbf{12 \times 10^{-3}}$ **N**

(جـ) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 30 = \mathbf{6 \times 10^{-3}}$ **N**

إرشاد



* لكى يظل سلك يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى عمودى على السلك متزن أفقيًا تحت تأثير قوة وزنه (F_g) والقوة المغناطيسية (F) حيث F اتجاهها رأسيًا ولأعلى :

$$F = F_g$$

$$BI\ell = mg$$

$$BI\ell = \rho V_{ol} g$$

$$BI\ell = \rho A\ell g$$

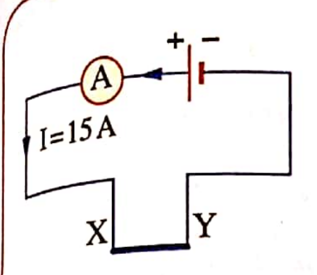
$$BI = \rho \pi r^2 g$$

* أما إذا عُكس اتجاه التيار فى السلك أو اتجاه المجال المغناطيسى تصبح القوتين F_g ، F فى نفس الاتجاه رأسيًا إلى أسفل، أى أن :

$$F_{(\text{المحصلة})} = F_g + F$$



مثال



سلك XY من الألومنيوم مساحة مقطعه $0.2\ cm^2$ معلق أفقيًا، بينما يلامس طرفاه نهاية دائرة كهربية كما هو مبين بالرسم، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى التى تعمل على أن يظل السلك معلقًا بدون استخدام مؤثر خارجى مع تحديد اتجاه كثافة الفيض (علمًا بأن : $\rho_{Al} = 2700\ kg/m^3$ ، $g = 10\ m/s^2$)

الحل

$B = ?$	$\rho_{Al} = 2700\ kg/m^3$	$g = 10\ m/s^2$	$I = 15\ A$	$A = 0.2 \times 10^{-4}\ m^2$

لكى يظل السلك XY معلق يجب أن يتساوى وزن السلك مع القوة المغناطيسية المؤثرة لأعلى.

$$\therefore F = F_g$$

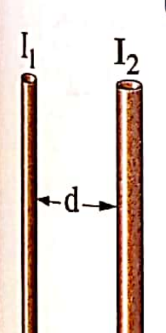
$$\because m = V_{ol}\rho_{Al} = A\ell\rho_{Al} \qquad \because F = BI\ell \qquad \therefore BI\ell = A\ell\rho_{Al}g$$

$$\therefore B = \frac{0.2 \times 10^{-4} \times 2700 \times 10}{15} = 36 \times 10^{-3}\ T$$

واتجاه كثافة الفيض يكون إلى داخل الورقة وعمودى عليها.

A
F=BIℓ
X
Y
mg

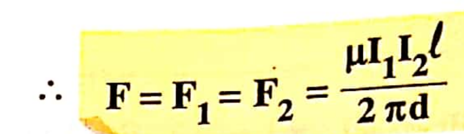
حساب القوة المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويحملان تيارين



* إذا مر تياران I_1 , I_2 فى سلكين طويلين جدًا ومتوازيين المسافة بينهما d بحيث كان الطول المشترك للسلكين ℓ فإن المجال المغناطيسى حول كل سلك يؤثر على السلك الآخر بقوة (F) كالتالى :

القوة المؤثرة على السلك الأول (F_1)	القوة المؤثرة على السلك الثانى (F_2)
تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الثانى :	تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الأول :
$F_1 = B_2 I_1 \ell = \frac{\mu I_2}{2\pi d} I_1 \ell$	$F_2 = B_1 I_2 \ell = \frac{\mu I_1}{2\pi d} I_2 \ell$

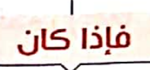




$$\therefore \quad F = F_1 = F_2 = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$$

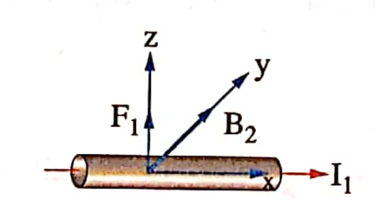
حيث : (F) القوة المتبادلة بين السلكين

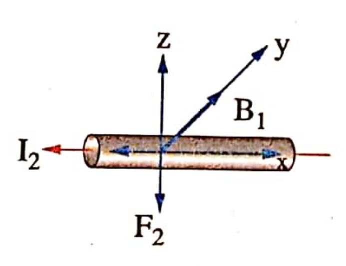
ويتوقف نوعها على اتجاه التيار فى كل منهما



I_1 ، I_2 فى نفس الاتجاه

I_1 ، I_2 فى اتجاهين متضادين





فإن

القوة المتبادلة تكون قوة تجاذب

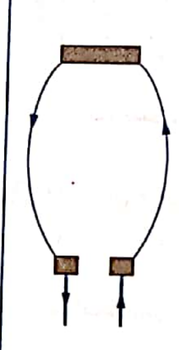
القوة المتبادلة تكون قوة تنافر



محصلة كثافة الفيض خارج السلكين أكبر من محصلة كثافة الفيض بينهما فتتولد قوة مغناطيسية تؤثر على السلكين اتجاهها من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض (الخارج) إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض (الداخل) فيتجاذبا، كما بالشكل.



محصلة كثافة الفيض بين السلكين أكبر من محصلة كثافة الفيض خارجهما فتتولد قوة مغناطيسية تؤثر على السلكين اتجاهها من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض (الداخل) إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض (الخارج) فيتنافرا، كما بالشكل.



مثال

سلكان مستقيمان ومتوازيـان المسافـة بينهما فى الهواء 2 m يمر فى كـل منهما تيار كهربـى وفى نفس الاتجاه فإذا انعدمت كثافة الفيض المغناطيسـى عند نقطة فى منتصف المسافة بينهما وكانت القوة المؤثرة على متر واحد من أى من السلكين 4×10^{-5} N، احسب شدة التيار المار فى كل من السلكين (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $\ell = 1$ m | $F = 4 \times 10^{-5}$ N | $d = 2$ m

$I_2 = ?$ | $I_1 = ?$

∵ كثافة الفيض عند نقطة فى منتصف المسافة بين السلكين = صفر

$$\therefore I_1 = I_2$$

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 \ell}{2\pi d}$$

$$4 \times 10^{-5} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times I_1^2 \times 1}{2\pi \times 2}$$

$$I_1 = I_2 = 20 \text{ A}$$

إرشاد

* لتعيين القوة المغناطيسـية التى يؤثر بها سـلكان متوازيان 1 ، 2 على سـلك ثالث 3 موازى لهما وفى نفس المستوى :

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول عند موضع السلك الثالث :

$$B_{13} = \mu \frac{I_1}{2\pi d_{13}}$$

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثانى عند موضع السلك الثالث :

$$B_{23} = \mu \frac{I_2}{2\pi d_{23}}$$

– نحسب كثافة الفيض المحصلة :

$$B_t = B_{13} \pm B_{23}$$

– نحسب القوة المحصلة :

$$F = B_t I_3 \ell_3$$

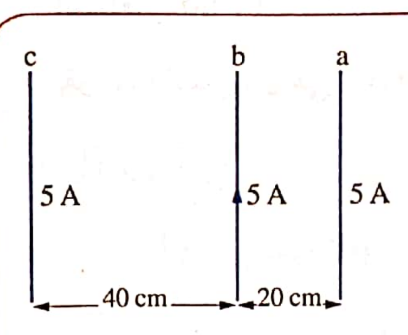


مثال

الشكل المقابل يوضح ثلاثة أسلاك متوازية، **أوجد القوة المؤثرة على المتر الواحد من السلك b عندما يكون التياران فى السلكين c ، a :**

(أ) فى اتجاه واحد. **(ب)** فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)



الحل

$I_a = I_c = I_b = 5$ A | $d_{ab} = 20 \times 10^{-2}$ m | $d_{cb} = 40 \times 10^{-2}$ m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $\frac{F_b}{\ell_b} = ?$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B_{ab} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-6}\ T$$

$$B_{cb} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 40 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{-6}\ T$$

(أ)

$$B_t = B_{ab} - B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) - (2.5 \times 10^{-6}) = 2.5 \times 10^{-6}\ T$$

$$\frac{F_b}{\ell_b} = B_t I_b = 2.5 \times 10^{-6} \times 5 = \mathbf{12.5 \times 10^{-6}\ N/m}$$

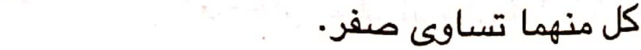
(ب)

$$B_t = B_{ab} + B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) + (2.5 \times 10^{-6}) = 7.5 \times 10^{-6}\ T$$

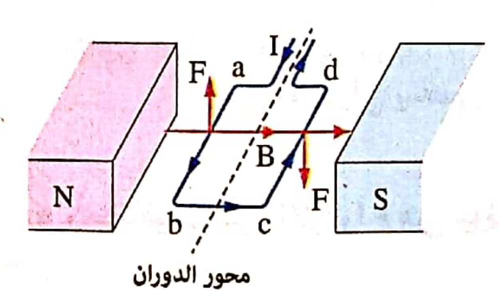
$$\frac{F_b}{\ell_b} = B_t I_b = 7.5 \times 10^{-6} \times 5 = \mathbf{37.5 \times 10^{-6}\ N/m}$$

عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

* إذا وضع ملف abcd يتكون من لفة واحدة ويمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى منتظم بحيث يكون مستوى الملف موازى لخطوط الفيض المغناطيسى، فإن :



- الضلعان bc ، ad يكونا موازيين لخطوط الفيض المغناطيسى فتكون القوة المؤثرة على كل منهما تساوى صفر.



- الضلعان ab ، cd يكونان متعامدان على خطوط الفيض المغناطيسى فيتأثر الضلعان بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه قيمة كل منهما : $F = BIl_{cd}$

* نتيجة لهاتين القوتين ينشأ عزم ازدواج يعمل على دوران الملف حول محوره، وتتعين قيمته من العلاقة :

عزم الازدواج = إحدى القوتين × البُعد العمودى بينهما $\tau = BIl_{cd} \times l_{bc}$

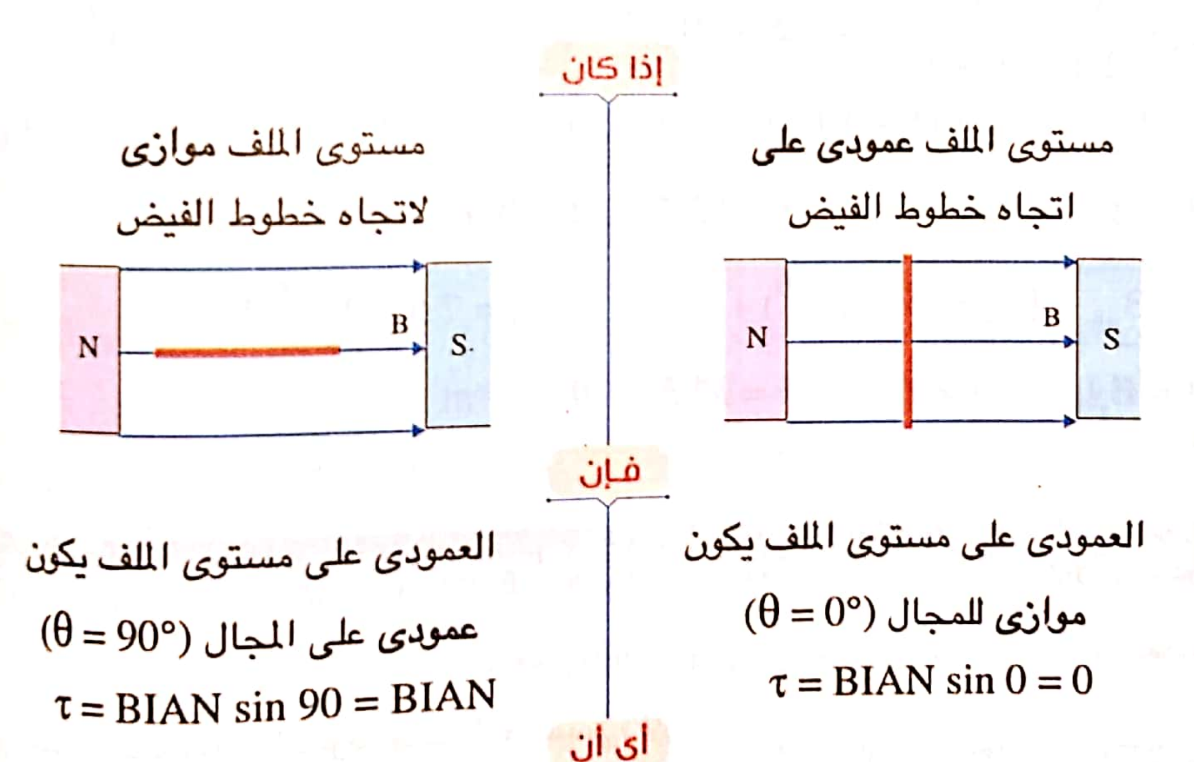
حيث : البُعد العمودى بينهما = طول أحد الضلعين l_{ad} أو l_{bc}

$\because A = l_{cd}\, l_{bc}$ $\therefore \tau = BIA$

وإذا كان الملف يحتوى على N من اللفات يصبح عزم الازدواج الكلى : $\tau = BIAN$

وعندما يصنع العمودى على مستوى الملف زاوية θ مع خطوط الفيض فإن : $\tau = BIAN \sin\theta$

* وبالمثل عندما يكون مستوى الملف عموديًا على الفيض المغناطيسى تصبح القوتين المؤثرتين على كل ضلعين متقابلين للملف متساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه وخط عملها على استقامة واحدة فتنعدم محصلتهما ولا يتولد عنهما عزم ازدواج، وبالتالى :



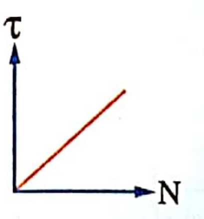
* وحدة قياس عزم الازدواج هى نيوتن.متر (N.m) والتى تكافئ تسلا. أمبير. متر٢ $(T.A.m^2)$



العوامل التى يتوقف عليها عزم الازدواج المغناطيسى

١ عدد لفات الملف :

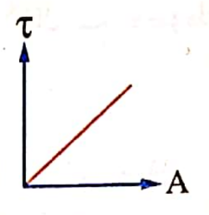
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta N} = BIA \sin\theta$$

٢ مساحة وجه الملف :

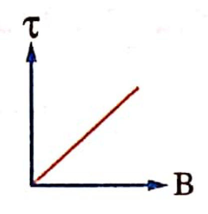
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع مساحة وجه الملف.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta A} = BIN \sin\theta$$

٣ كثافة الفيض المغناطيسى :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسى.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta B} = IAN \sin\theta$$

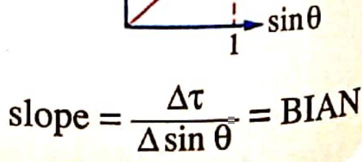
$$\tau = B\,I\,A\,N \sin\theta$$

٤ الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض :

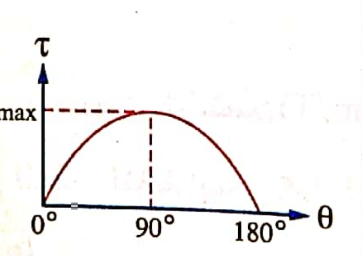
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع جيب الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض.

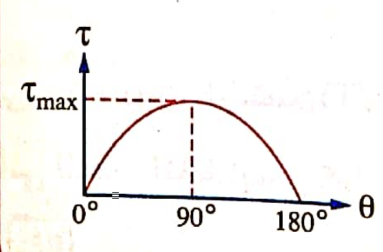
أو

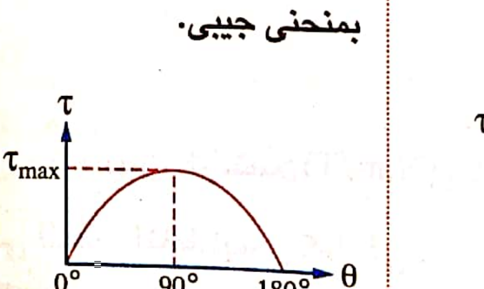
تمثل العلاقة بين عزم الازدواج المغناطيسى والزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض **بمنحنى جيبى.**



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta \sin\theta} = BIAN$$

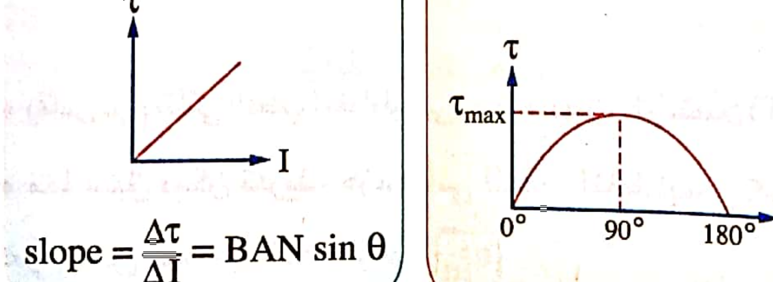


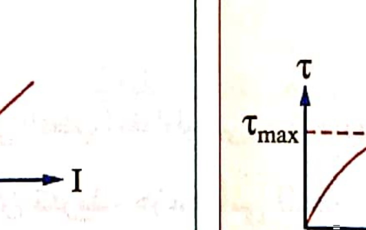




٥ شدة التيار :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.





$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta I} = BAN \sin\theta$$

مثال

ملف مستطيل مساحة وجهه $50\ cm^2$ مكون من 100 لفة وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 5 T ويمر به تيار شدته 1.2 A، **أوجد عزم الازدواج المؤثر على الملف فى الحالات الآتية :**

(أ) إذا كان مستوى الملف موازيًا لاتجاه خطوط الفيض.

(ب) إذا كان مستوى الملف عموديًا على اتجاه خطوط الفيض.

(جـ) عندما يصنع مستوى الملف زاوية $20°$ مع خطوط الفيض.

الحل

$A = 50 \times 10^{-4}\ m^2$ | $N = 100$ | $B = 5\ T$ | $I = 1.2\ A$ | $\tau = ?$

(أ) $\tau = BIAN \sin\theta = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 90 = \mathbf{3\ N.m}$

(ب) $\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 0 = \mathbf{0}$

(جـ) $\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 70 = \mathbf{2.82\ N.m}$

عزم ثنائى القطب المغناطيسى

* عزم ثنائى القطب المغناطيسى لملف $|\vec{m_d}|$ هو كمية متجهة واتجاهها عمودى على مستوى الملف.

N B S θ $|\vec{m_d}|$

* يتعين عزم ثنائى القطب المغناطيسى من العلاقة :

$$|\vec{m_d}| = IAN$$

$$\therefore \tau = B\,|\vec{m_d}| \sin\theta$$

$$\therefore |\vec{m_d}| = \frac{\tau}{B \sin\theta}$$

* يقاس عزم ثنائى القطب المغناطيسى بوحدة نيوتن.متر/تسلا (N.m/T) وتكافئ أمبير.متر٢ $(A.m^2)$.

* **مما سبق يمكن تعريف عزم ثنائى القطب المغناطيسى كما يلى :**

عزم ثنائى القطب المغناطيسى $|\vec{m_d}|$

يقدر بعزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى ويكون مستواه موازيًا لفيض مغناطيسى كثافته 1 T



تحديد اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى

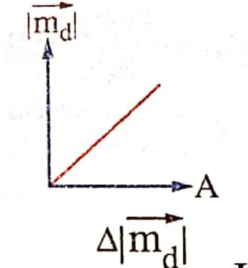
* عزم ثنائى القطب المغناطيسى دائمًا عمودى على مستوى الملف، ويمكن تحديد اتجاهه باستخدام :

① قاعدة البريمة اليمنى	② قاعدة اليد اليمنى
نص القاعدة (طريقة الاستخدام)	
اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى يكون فى اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى ويكون اتجاه دوران البريمة هو اتجاه التيار.	اجعل أصابع اليد اليمنى ماعدا الإبهام تشير إلى اتجاه التيار فى الملف فيشير الإبهام إلى اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى.

العوامل التى يتوقف عليها عزم ثنائى القطب المغناطيسى

١ مساحة وجه الملف :

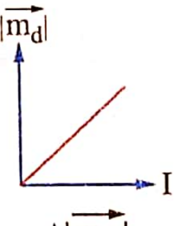
يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع مساحة وجه الملف.



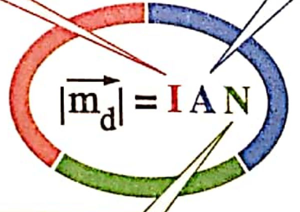
$$slope = \frac{\Delta|\vec{m}_d|}{\Delta A} = IN$$

٢ شدة التيار :

يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف.

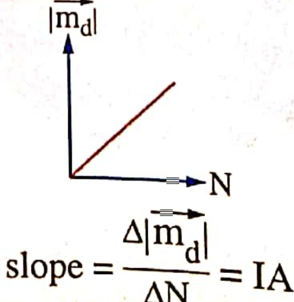


$$slope = \frac{\Delta|\vec{m}_d|}{\Delta I} = AN$$



٣ عدد لفات الملف :

يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta|\vec{m}_d|}{\Delta N} = IA$$

مثـال

ملف دائرى عدد لفاته N ونصف قطره 10 cm إذا مر به تيار كهربى شدته I تولد عند مركزه فيض مغناطيسى كثافته 2×10^{-4} T، **احسب** قيمة عزم ثنائى القطب المغناطيسى له.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل

$r = 0.1$ m | $B = 2 \times 10^{-4}$ T | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $|\overrightarrow{m_d}| = ?$

$$\because B = \mu \frac{NI}{2r}$$

$$\therefore I = \frac{2rB}{\mu N} = \frac{2 \times 0.1 \times 2 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7} N} = \frac{31.82}{N}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \times (0.1)^2 = 0.031 \text{ m}^2$$

$$|\overrightarrow{m_d}| = IAN = \frac{31.82}{N} \times 0.031 \times N$$

$$= \mathbf{0.99 \text{ A.m}^2}$$

تطبيقات عزم الازدواج المغناطيسى

١ أجهزة القياس التناظرية.

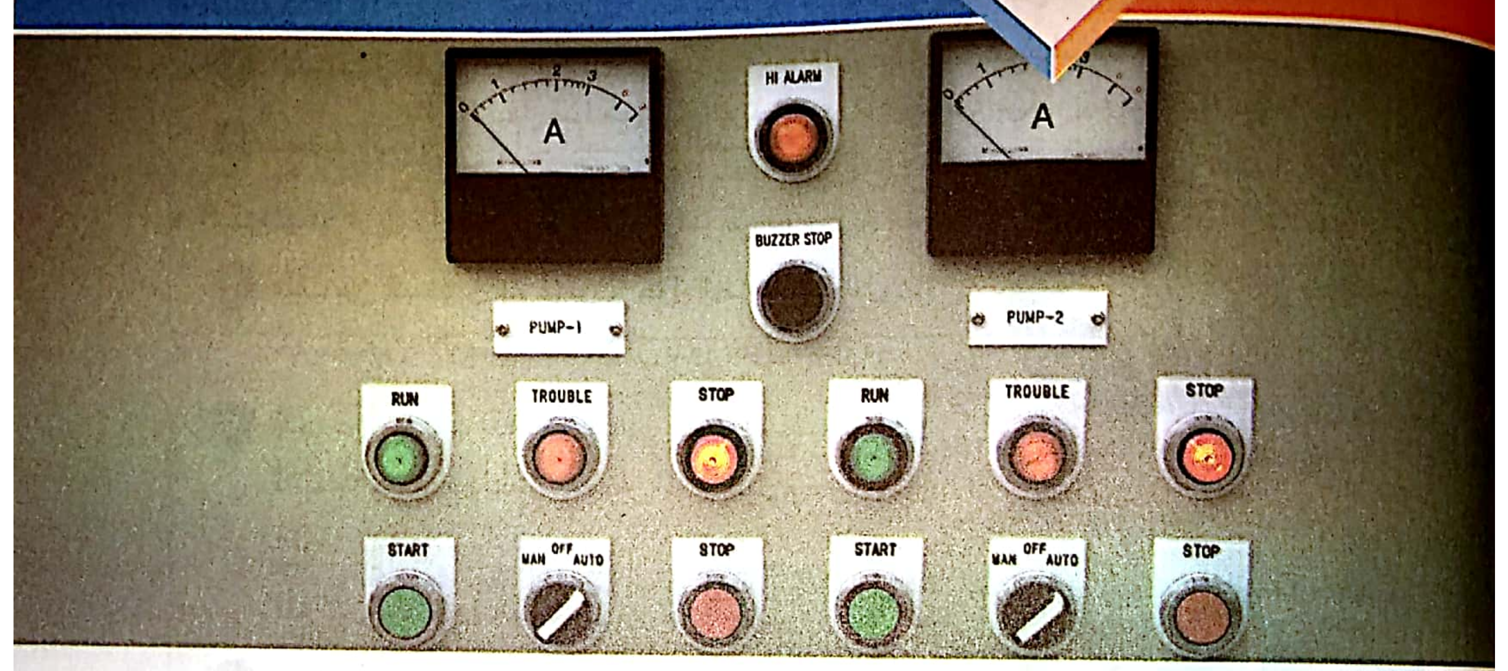
٢ المحرك الكهربى.



الفصل 2

الدرس الرابع

أجهزة القياس الكهربى



* درسنا فى الدرس السابق عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى عند وضعه فى مجال مغناطيسى، وتستخدم هذه الفكرة فى عمل بعض أجهزة القياس الكهربى.

* **تنقسم أجهزة القياس الكهربى إلى نوعين :**

أجهزة القياس التناظرية (Analog)	أجهزة القياس الرقمية (Digital)
فكرة العمل	
تعتمد على عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار وقابل للحركة فى مجال مغناطيسى	تعتمد على الإلكترونيات الرقمية
طريقة بيان القراءة	
تعتمد على وجود مؤشر يعطى القيمة المطلوبة	تعتمد على ظهور أعداد رقمية على الشاشة تحدد القيمة المطلوبة
أمثلة	
الجلفانومتر ذو الملف المتحرك والأميتر والفولتميتر	أجهزة القياس الرقمية للتيار المستمر أو التيار المتردد

* **سنتناول فى هذا الدرس أحد أجهزة القياس الكهربى التناظرية بشىء من التفصيل وهو الجلفانومتر ذو الملف المتحرك وبعض التطبيقات عليه.**

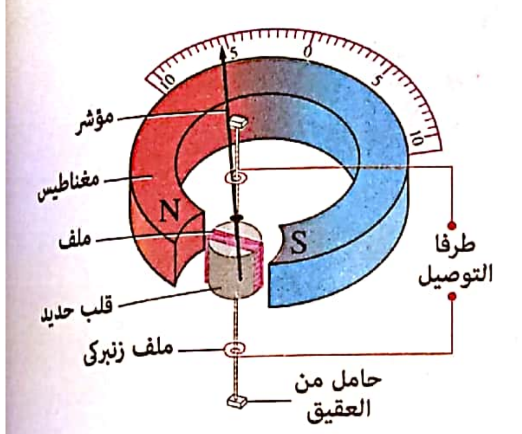
الجلڤانومتر ذو الملف المتحرك (الجلڤانومتر الحساس) Moving Coil Galvanometer

الاستخدام :

١ الاستدلال على وجود تيارات كهربية مستمرة ضعيفة جدًا فى دائرة كهربية وقياس شدتها.

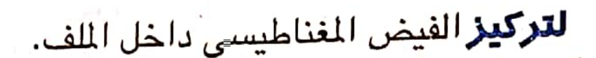
٢ تحديد اتجاه التيارات المستمرة الضعيفة.

التركيب :

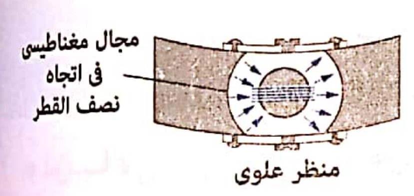


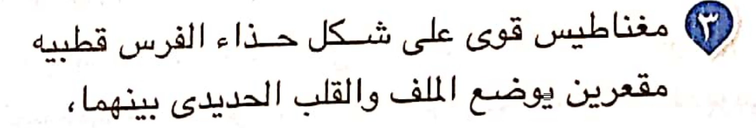
١ ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره.

٢ قلب من الحديد المطاوع على هيئة أسطوانة ثابتة يوضع داخل الإطار المستطيل ومعزول عنه،



لتركيز الفيض المغناطيسى داخل الملف.





٣ مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين يوضع الملف والقلب الحديدى بينهما،

حتى تكون خطوط الفيض المغناطيسى بين القطبين على هيئة أنصاف أقطار وبالتالى فى أى وضع للملف تكون خطوط الفيض موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطوليين.

٤ زوج من الملفات الزنبركية (اللولبية)،

لتعمل كوصلات لدخول وخروج التيار من الملف وللتحكم فى حركة الملف كما تعمل على إعادة الملف إلى وضعه الأصلى عند انقطاع التيار.

٥ حوامل من العقيق،

يرتكز عليها الملف لتقليل الاحتكاك وتسهيل حركته.

الأساس العلمى (فكرة العمل) :

- **الفكرة** : عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

- **الشرح** : عند مرور تيار كهربى فى الملف تتولد قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه على الضلعين الطوليين للملف فينشأ عنهما عزم ازدواج فيدور الملف حول محوره.

شرح العمل :

1. عند مرور التيار الكهربى فى الملف فإن القوى المغناطيسية تولد عزمًا يعمل على دوران الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة أو عكسها.
2. أثناء دوران الملف يتولد فى الملفين الزنبركيين عزم لىّ يعاكس عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر وتزداد قيمته تدريجيًا بزيادة زاوية انحراف المؤشر.
3. عندما يتزن عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر مع عزم اللىّ المتولد فى الملفين الزنبركيين يستقر المؤشر أمام قراءة معينة تدل على مقدار شدة التيار.
4. إذا عُكس اتجاه التيار الكهربى فى الملف يتحرك الملف والمؤشر فى عكس الاتجاه.

ملاحظات

* **صفر تدريج الجلفانومتر ذو الملف المتحرك فى المنتصف،**

لتحديد اتجاه التيار المار فى ملفه.

* **لا يصلح الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لقياس شدة التيارات الكهربية العالية،**

لأن مرور تيار عالى الشدة قد يسبب :

- انحراف كبير مفاجئ يؤدى إلى اختلال اتزان الملف وفقد ملفات اللىّ جزء من مرونتها مما يسبب خطأ فى صفر التدريج.
- تولد حرارة فى أسلاك الملف مما قد يسبب تلف الملف.

* **يجب معايرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك بعد فترة من استخدامه،**

لأن بعد فترة من استخدام الجلفانومتر ذو الملف المتحرك قد تضعف قوة اللىّ فى السلكين الزنبركيين وكذلك قوة المغناطيس المستخدم مما قد يؤثر على دقة قراءة الجهاز.

حساسية الجلفانومتر

* يتناسب انحراف مؤشر الجلفانومتر طرديًا مع عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على الملف والذى يتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف،

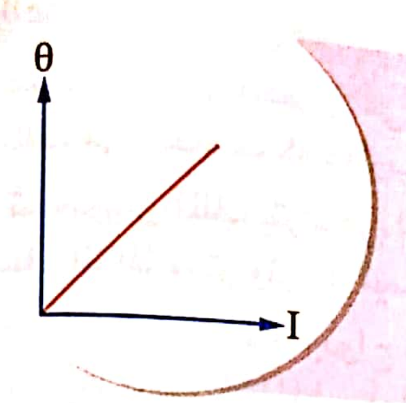
لذلك يكون **تدريج الجلفانومتر منتظم،** فإذا كانت زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر θ وشدة التيار المار فى الملف I فإن $(\theta \propto I)$،

أى أن : $\frac{\theta}{I}$ = مقدار ثابت.

* يسمى هذا المقدار الثابت **حساسية الجلفانومتر :**

حساسية الجلفانومتر $= \frac{\theta}{I}$

* تقاس حساسية الجلفانومتر بوحدة **درجة/ميكروأمبير** **(deg/μA)**.



* يمكن تمثيل العلاقة بين زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر (θ) وشدة التيار المار فى الملف (I) بيانيًا كما بالشكل :

$$\text{slope} = \frac{\Delta\theta}{\Delta I} = \text{حساسية الجلفانومتر}$$

* مما سبق يمكن تعريف حساسية الجلفانومتر كالتالى :

حساسية الجلفانومتر $\left(\frac{\theta}{I}\right)$

تقدر بزاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر عن وضع الصفر عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.

مثال

جلفانومتر ذو ملف متحرك عندما يمر به تيار كهربى شدته 30 mA ينحرف المؤشر بزاوية 60°، **احسب** حساسية الجلفانومتر.

الحل

$I = 30\ mA$ | $\theta = 60°$ | $\frac{\theta}{I} = ?$

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\theta}{I} = \frac{60}{30} = 2\ deg/mA$$

إرشاد

* لتعيين شدة التيار المار فى ملف الجلفانومتر :

شدة التيار (I) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر × دلالة القسم الواحد

مثال

احسب أقصى شدة تيار يقيسه جلفانومتر مدرج إلى 50 قسم إذا كانت دلالة القسم الواحد 0.1 mA

الحل

$I = ?$ | دلالة قسم الجلفانومتر الواحد = 0.1 mA | عدد الأقسام التى ينحرف إليها المؤشر = 50

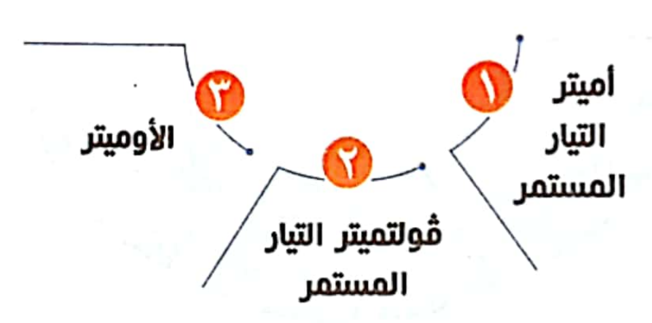
شدة التيار = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر × دلالة القسم الواحد

$$I = 50 \times 0.1 = 5\ mA = 5 \times 10^{-3}\ A$$



تطبيقات على الجلفانومتر ذو الملف المتحرك

* يمكن تحويل الجلفانومتر إلى :



١ أميتر التيار المستمر (الأميتر ذو الملف المتحرك) DC Ammeter

الاستخدام :

قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر.



أميتر

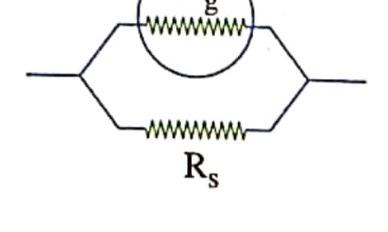
الأساس العلمى (فكرة العمل) :

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

التوصيل فى الدائرة الكهربية :

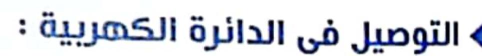
يوصل الأميتر فى الدوائر الكهربية على التوالى،
حتى يمر فيه نفس التيار المار فى الدائرة.

التركيب :



١ جلفانومتر ذو ملف متحرك.

٢ مقاومة صغيرة تسمى مجزئ التيار (R_s)، توصل على التوازى مع ملف الجلفانومتر،



وأهميتها :

١- حماية الجلفانومتر من التلف نتيجة مرور معظم التيار بها.

٢- زيادة مدى الجلفانومتر ليقيس شدة تيار أكبر (تقليل حساسية الجهاز).

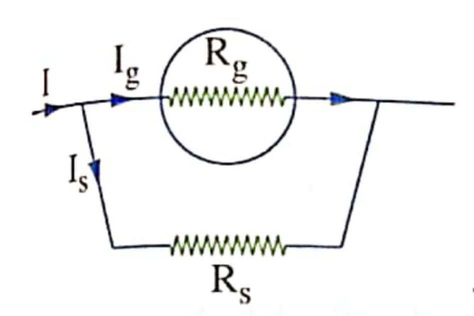
٣- تقلل من المقاومة الكلية للأميتر وبالتالى يقل تأثير الجهاز على المقاومة الكلية للدائرة وعلى شدة التيار المار بها عند توصيله فى الدائرة فتزيد دقة الجهاز فى قياس شدة التيار.

* مما سبق يمكن تعريف مجزئ التيار كما يلى :

مجزئ التيار

مقاومة صغيرة توصل بالجلفانومتر على التوازى لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أكبر.

حساب قيمة مقاومة مجزئ التيار



∵ R_g ، R_s متصلتان على التوازى.

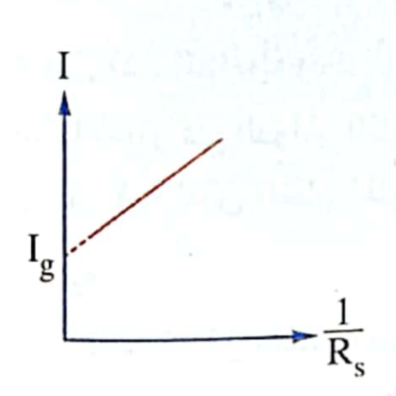
$$\therefore V_g = V_s$$

$$\therefore I_g R_g = I_s R_s \quad , \quad R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

$$\because I = I_g + I_s \qquad \therefore I_s = I - I_g \qquad \therefore \mathbf{R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}}$$

حيث : (I_g) أقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر، (I_s) التيار المار فى مجزئ التيار، (I) شدة التيار الكلية (أقصى تيار يمكن أن يقيسه الأميتر).

* العلاقة البيانية بين أقصى شدة تيار يقيسه الأميتر (I) ومقلوب مقاومة مجزئ التيار $(\frac{1}{R_s})$:



$$\because I = I_g + \frac{V_g}{R_s}$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta I}{\Delta(\frac{1}{R_s})} = V_g = I_g R_g$$

مثال

جلفانومتر مقاومة ملفه $2\,\Omega$ يتحمل تيار أقصاه 5 mA، **احسب** المقاومة اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس تيار أقصاه 10 A

الحل

$R_g = 2\,\Omega$ | $I_g = 5 \times 10^{-3}\text{ A}$ | $I = 10\text{ A}$ | $R_s = ?$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{10 - (5 \times 10^{-3})} = \mathbf{0.001\,\Omega}$$



إرشاد

* لحساب المقاومة الكلية للأميتر $(R_{(أميتر)})$:

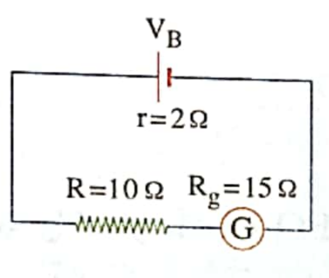
$$R_{(أميتر)} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{V_g}{I}$$

* لتعيين شدة التيار المار فى الأميتر :

شدة التيار (I) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الأميتر × دلالة القسم الواحد

مثال

الدائرة الكهربية المقابلة تتكون من بطارية قوتها الدافعة الكهربية V_B ومقاومتها الداخلية $2\ \Omega$ تتصل بمقاومة ثابتة $10\ \Omega$ وجلفانومتر مقاومة ملفه $15\ \Omega$، **أوجد** النسبة بين التيارين المارين فى الدائرة الكهربية قبل وبعد توصيل ملف الجلفانومتر بمجزئ تيار قيمته $10\ \Omega$



الحل

$r = 2\ \Omega$	$R = 10\ \Omega$	$R_g = 15\ \Omega$	$R_s = 10\ \Omega$	$\frac{I_1}{I_2} = ?$

* قبل توصيل مجزئ التيار :

$$I_1 = \frac{V_B}{R + R_g + r} = \frac{V_B}{10 + 15 + 2} = \frac{V_B}{27}$$

* بعد توصيل مجزئ التيار :

$$R_{(أميتر)} = \frac{R_s R_g}{R_s + R_g} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R + R_{(أميتر)} + r} = \frac{V_B}{10 + 6 + 2} = \frac{V_B}{18}$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_B}{27} \times \frac{18}{V_B} = \frac{2}{3}$$

إرشاد

* النسبة بين حساسية الأميتر وحساسية الجلفانومتر :

$$\frac{\text{حساسية الأميتر}}{\text{حساسية الجلفانومتر}} = \frac{\frac{\theta}{I}}{\frac{\theta}{I_g}} = \frac{I_g}{I}$$

$$\because \grave{R} = \frac{V_g}{I} = \frac{I_g R_g}{I} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s}$$

$$\therefore \frac{I_g}{I} = \frac{R_s}{R_g + R_s}$$

مثال (١)

مجزئ تيار مقاومته $0.1\ \Omega$ ينقص حساسية جلفانومتر إلى العُشر، أوجد مقاومة المجزئ الذي ينقص حساسية هذا الجلفانومتر إلى الربع.

الحل

* عندما تنقص الحساسية إلى العُشر فإن : $I = 10\ I_g$

$$\because (R_s)_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \qquad \therefore 0.1 = \frac{I_g R_g}{10\ I_g - I_g} = \frac{R_g}{9}$$

$$\therefore R_g = 0.9\ \Omega$$

* عندما تنقص الحساسية إلى الربع فإن : $I = 4\ I_g$

$$(R_s)_2 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{I_g \times 0.9}{4\ I_g - I_g} = \frac{0.9}{3} = 0.3\ \Omega$$

مثال (٢)

جلفانومتر مقاومة ملفه $40\ \Omega$ يتكون من عشرة أقسام ويدل كل قسم من أقسامه على $10\ mA$،

(أ) اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر لأميتر يقيس تيار أقصاه $10\ A$، مع الرسم.

(ب) احسب دلالة القسم الواحد بعد تحويل الجلفانومتر لأميتر.

(جـ) احسب المقاومة المكافئة للأميتر.



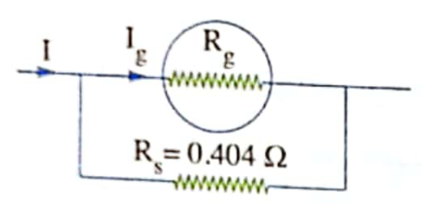
الحل

$R_g = 40\ \Omega$	10 = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر
دلالة قسم الجلفانومتر الواحد = 10×10^{-3} A	I = 10 A
$R_s = ?$	دلالة قسم الأميتر الواحد = ? / $R_{(أميتر)} = ?$

(أ) I_g = دلالة قسم الجلفانومتر الواحد × عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر

$$= 10 \times 10 \times 10^{-3} = 0.1\ A$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.1 \times 40}{10 - 0.1} = 0.404\ \Omega$$



توصـل مقاومة قدرهـا 0.404 Ω على التوازى مع ملف الجلفانومتر.

(ب) شدة التيار = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الأميتر × دلالة قسم الأميتر الواحد

10 = 10 × دلالة قسم الأميتر الواحد

دلالة قسم الأميتر الواحد = 1 أمبير

(جـ)
$$R_{(أميتر)} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{40 \times 0.404}{40 + 0.404} = 0.4\ \Omega$$

٢ ڤولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter



ڤولتميتر

الاستخدام :

قياس فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة كهربية.

الأساس العلمى (فكرة العمل) :

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

التوصيل فى الدائرة الكهربية :

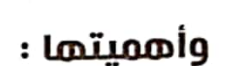
يوصل الجهاز على التوازى بين طرفى الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه فى الدائرة الكهربيــة بحيث يتصل الطــرف الموجب للڤولتميتر بالجهد الموجب والطرف الســالب بالجهد السالب،

ليكون فرق الجهد بين طرفى الڤولتميتر مساوى لفرق الجهد المطلوب قياسه.

التركيب :

١ جلڤانومتر ذو ملف متحرك.

٢ مقاومة كبيرة تسمى مضاعف الجهد (R_m) توصل على التوالى مع ملف الجلڤانومتر،



وأهميتها :

١- زيادة مدى الجهاز ليقيس فروق جهد أكبر (تقليل حساسيته).

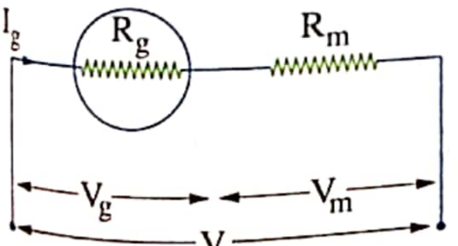
٢- زيــادة المقاومة الكليــة للڤولتميتر وبالتالى عند توصيله على التوازى فى الدائرة يقل ما يســحبه من تيار الدائرة فيقل تأثير الجهاز على فرق الجهد المطلوب قياســه مما يعمل على زيادة دقة الجهاز.

* مما سبق يمكن تعريف مضاعف الجهد كما يلى :

مضاعف الجهد

مقاومة كبيرة توصل بالجلڤانومتر على التوالى لتحويله إلى ڤولتميتر يقيس فروق جهد أكبر.

حساب قيمة مقاومة مضاعف الجهد



$\because$ R_g، R_m متصلتان على التوالى.

$$\therefore\ V = V_g + V_m = I_gR_g + I_gR_m$$

حيث : (V_m) فرق الجهد بين طرفى مضاعف الجهد، (V) أقصى فرق جهد يقيسه الڤولتميتر.

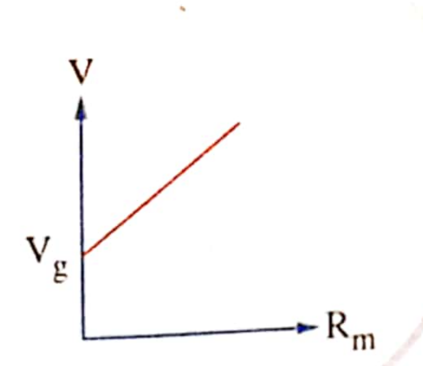
$$\therefore\ R_m = \frac{V - I_gR_g}{I_g}$$



- العلاقة البيانية بين أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر (V) ومقاومة مضاعف الجهد (R_m) :

$$\because V = I_g R_g + I_g R_m$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta R_m} = I_g$$



مثال (١)

جلفانومتر مقاومة ملفه $0.1\ \Omega$ ويبلغ أقصى انحراف لمؤشره عندما يمر بملفه تيار شدته 1 mA. احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى 50 V

الحل

$R_g = 0.1\ \Omega$	$I_g = 10^{-3}$ A	V = 50 V	$R_m = ?$

$$V_g = I_g R_g = 10^{-3} \times 0.1 = 10^{-4}\ V$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 10^{-4}}{10^{-3}} = 49999.9\ \Omega$$

مثال (٢)

دائرة كهربية تحتوى على مقاومة مقدارها $20\ \Omega$ موصلة على التوازى بفولتميتر مقاومته $300\ \Omega$ وعندما مر بالدائرة تيار شدته الكلية 1.2 A انحرف مؤشر الفولتميتر إلى نهاية تدريجه، احسب قراءة الفولتميتر حينئذ، وإذا وصل الفولتميتر بعد ذلك على التوالى مع مقاومة مقدارها $5700\ \Omega$، احسب أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه الفولتميتر فى هذه الحالة.

الحل

$R = 20\ \Omega$	$R_g = 300\ \Omega$	I = 1.2 A	$R_m = 5700\ \Omega$
$V_g = ?$	$V = ?$		

$$\grave{R} = \frac{R_g R}{R_g + R} = \frac{300 \times 20}{300 + 20} = 18.75\ \Omega$$

$$V_g = I\grave{R} = 1.2 \times 18.75 = 22.5\ V$$

* لحساب أقصى فرق جهد (V) يمكن أن يقيسه الفولتميتر بعد توصيل مضاعف الجهد، لابد أولًا حساب أقصى شدة تيار (I_g) يتحمله الجلفانومتر :

$$I_g = \frac{V_g}{R_g} = \frac{22.5}{300} = 0.075\ A$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \quad , \quad 5700 = \frac{V - 22.5}{0.075}$$

$$\therefore V = 450\ V$$

إرشاد

* لحساب المقاومة الكلية للفولتميتر ($R_{(فولتميتر)}$) :

$$R_{(فولتميتر)} = R_g + R_m = \frac{V}{I_g}$$

* لتعيين فرق الجهد الكلى بين طرفى الفولتميتر :

فرق الجهد (V) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الفولتميتر × دلالة القسم الواحد

مثال ١

جلفانومتر حساس مقاومة ملفه $150\ \Omega$ وأقصى تيار يتحمله $10\ mA$ وصل ملفه على التوازى بمقاومة مقدارها $10\ \Omega$ ليكونا معًا جهازًا واحدًا، ثم وصل هذا الجهاز على التوالى بمقاومة مقدارها $1000\ \Omega$ ليكونا فولتميتر، **احسب** أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه هذا الفولتميتر.

الحل

$R_g = 150\ \Omega$ | $I_g = 10\ mA$ | $R_s = 10\ \Omega$ | $R_m = 1000\ \Omega$

$V = ?$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$



$$10 = \frac{10 \times 10^{-3} \times 150}{I - (10 \times 10^{-3})} \qquad \therefore I = 0.16\ A$$

$$\grave{R} = \frac{150 \times 10}{150 + 10} = 9.375\ \Omega$$

$$V = I\,(\grave{R} + R_m) = 0.16 \times (9.375 + 1000) = \mathbf{161.5\ V}$$

مثال ٢

ڤولتميتر يتكون من جلڤانومتر مقاومته $250\ \Omega$ ومضاعف جهد $(R_m)_1$ يستخدم لقياس فروق جهد حتى $75\ V$، فإذا كانت شدة التيار المار فى الڤولتميتر $0.02\ A$، **احسب :**

(أ) مقاومة مضاعف الجهد.

(ب) أقصى فرق جهد يقيسه الڤولتميتر إذا وصل مع مضاعف الجهد على التوالى مقاومة أخرى قيمتها $3750\ \Omega$

الحل

$R_g = 250\ \Omega$	$V_1 = 75\ V$	$I_g = 0.02\ A$	$(R_m)_1 = ?$	$V_2 = ?$

(أ)

$$R_{(\text{ڤولتميتر})} = \frac{V_1}{I_g} = \frac{75}{0.02} = 3750\ \Omega$$

$$R_{(\text{ڤولتميتر})} = R_g + (R_m)_1$$

$$(R_m)_1 = R_{(\text{ڤولتميتر})} - R_g = 3750 - 250 = \mathbf{3500\ \Omega}$$

(ب)

$$(R_m)_2 = (R_m)_1 + 3750 = 3500 + 3750 = 7250\ \Omega$$

$$V_2 = I_g\left((R_m)_2 + R_g\right)$$

$$= 0.02\,(7250 + 250) = \mathbf{150\ V}$$

٣ الأوميتر Ohmmeter

الاستخدام :

قياس قيمة مقاومة مجهولة.

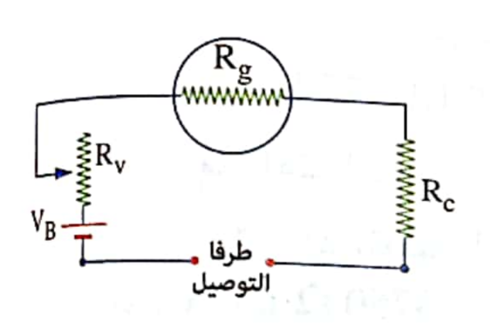
التوصيل فى الدائرة الكهربية :

يوصل طرفى الجهاز بطرفى المقاومة المراد قياس قيمتها (R_x).

التركيب :

١ ميكروأميتر (جلفانومتر) يقرأ $400\ \mu A$ كحد أقصى ومقاومته $(R_g = 250\ \Omega)$.

٢ مقاومة ثابتة $(R_c = 3000\ \Omega)$ توصل على التوالى مع الميكروأميتر، **تعمـــل** على زيادة مقاومة دائرة الأوميتـر كى لا يمر تيار كبير فى ملف الجلفانومتر فلا يتلف ملفه.



٣ مقاومــة متغيرة مداهــا $(R_v = 6565\ \Omega)$ توصل على التوالى مع الميكروأميتر، **للتحكم** فى شدة التيار المار فى الجهاز ويتم ضبطها فى البداية بحيث تسـمح بمرور أقصى تيار يتحمله الملف فينحرف المؤشر إلى نهاية تدريج الجلفانومتر (صفر تدريج الأوميتر) وذلك قبل إدماج أى مقاومة خارجية.

٤ عمـود جـاف مقاومتـه الداخليـة مهملـة وقوتـه الدافعـة الكهربيـة ثابتـة $(V_B = 1.5\ V)$، **حتى** لا تتغير شـدة التيـار أثناء ضبط مؤشـر الأوميتر أو أثناء اسـتخدامه، وبالتالى تتناسب شدة التيار تناسبًا عكسيًا مع المقاومة الكلية تبعًا لقانون أوم.

الأساس العلمى (فكرة العمل) :

يعتمـد قيـاس مقـاومة مـا على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة وشدة التيار المستمر عند ثبوت فرق الجهد تبعًا لقانون أوم :

$$I = \frac{V}{R_t}$$

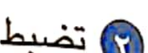
فـإذا ظـل فـرق الجهـد ثابتًا ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار فى الدائرة بزيادة قيمة المقاومة الكلية (R_t) ويمكن معـايـرة الجلفانـومتر ليعطى قيمة المقاومة المجهولة مباشرةً.

طريقة المعايرة :

١ تحسب قيمة مقاومة الدائرة اللازمة لمرور تيار I_g شدته $400\ \mu A$ من العلاقة :

$$R = \frac{V_B}{I_g} = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750\ \Omega$$



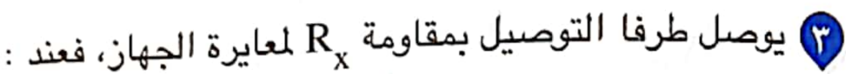


٢ تضبط المقاومة المتغيرة (R_v) على $500\ \Omega$ لتصبح مقاومة الدائرة $3750\ \Omega$ ، حيث :

$$\grave{R} = R_c + R_g + R_v = 3000 + 250 + 500 = 3750\ \Omega$$

فينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج وتكون أقصى شدة تيار تمر فى الملف هى :

$$I_g = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v} = \frac{V_B}{\grave{R}}$$



٣ يوصل طرفا التوصيل بمقاومة R_x لمعايرة الجهاز، فعند :

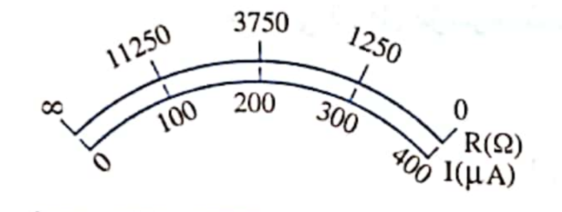
– توصيل مقاومة R_x قيمتها $1250\ \Omega$ (ثلث مقاومة الدائرة) ينحرف المؤشر إلى $\frac{3}{4}$ التدريج، ويمكن حساب شدة التيار المار من العلاقة :

$$I = \frac{V_B}{R_t} = \frac{V_B}{\grave{R} + R_x} = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x}$$

– توصيل مقاومة R_x قيمتها $3750\ \Omega$ (تساوى مقاومة الدائرة) يقل التيار المار وينحرف المؤشر إلى نصف التدريج.

– توصيل مقاومة R_x قيمتها $11250\ \Omega$ (3 أمثال مقاومة الدائرة) ينحرف المؤشر إلى $\frac{1}{4}$ التدريج.

٤ يتم كتابة النتائج التى تم الحصول عليها على كل من تدريجى الجلڤانومتر والأوميتر.



مما سبق نستنتج أن :

◂ **التدريج المستخدم لقياس المقاومات (تدريج الأوميتر) عكس تدريج التيار (تدريج الأميتر)،**

لأن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع المقاومة الكلية للدائرة $\left(I \propto \frac{1}{R_t}\right)$ ، أى عند أقصى انحراف تنعدم المقاومة (عند ملامسة طرفى الاختبار).

◂ **أقسام تدريج الأوميتر ليست متساوية (التدريج غير منتظم)،**

لأن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع المقاومة الكلية للدائرة وليس مع المقاومة المجهولة فقط.



مثال

مللى أميتر مقاومة ملفه $50\ \Omega$ يصل مؤشـره إلى نهاية تدريجه إذا مر به تيار شـدته $0.01\ A$ يُـراد تعديلـه إلى أوميتـر، فإذا كانت القوة الدافعـة الكهربية للعمود $2\ V$، **احسب** المقاومة العيارية اللازم استخدامها.

الحـــل

$R_g = 50\ \Omega$	$I_g = 0.01\ A$	$V_B = 2\ V$	$R_c = ?$

$$\because I_g = \frac{V_B}{R_g + R_c} \quad , \quad 0.01 = \frac{2}{50 + R_c} \qquad \therefore R_c = 150\ \Omega$$

إرشاد

- عندما ينحرف مؤشر الأوميتر إلى جزء من التدريج، فإن :

$$I_g = \frac{V_B}{\grave{R}} \quad , \quad I = \frac{V_B}{\grave{R} + R_x} \qquad \therefore \frac{I_g}{I} = \frac{\grave{R} + R_x}{\grave{R}}$$

مثال (١)

أوميتر ينحرف مؤشـره إلى $\frac{1}{4}$ تدريجه عندما يوصـل معـه مقاومـة $300\ \Omega$، **احسب** المقاومة التى تجعل مؤشره ينحرف إلى $\frac{1}{6}$ تدريجه.

الحـــل

$I_1 = \frac{I_g}{4}$	$(R_x)_1 = 300\ \Omega$	$I_2 = \frac{I_g}{6}$	$(R_x)_2 = ?$

$$\because I_g = \frac{V_B}{\grave{R}}$$

$$\because I_1 = \frac{V_B}{\grave{R} + (R_x)_1} \qquad \therefore \frac{1}{4} I_g = \frac{V_B}{4\grave{R}} = \frac{V_B}{\grave{R} + 300}$$

$$\therefore 4\grave{R} = \grave{R} + 300 \quad , \quad \grave{R} = 100\ \Omega$$

$$\because I_2 = \frac{I_g}{6} \qquad \therefore \frac{V_B}{6\grave{R}} = \frac{V_B}{\grave{R} + (R_x)_2}$$

$$\therefore 600 = 100 + (R_x)_2 \qquad \therefore (R_x)_2 = 500\ \Omega$$



مثال ٢

أوميتر ينحرف مؤشره إلى $\frac{1}{3}$ تدريجه عندما توصل معه مقاومة 600 Ω، **احسب :**

(أ) المقاومة اللازم توصيلها لينحرف مؤشره إلى $\frac{3}{4}$ تدريجه.

(ب) القوة الدافعة الكهربية للبطارية إذا كان أقصى تيار يقيسه الميكروأميتر 10 mA

الحل

$I_1 = \frac{I_g}{3}$	$I_2 = \frac{3\,I_g}{4}$	$I_g = 10 \times 10^{-3}\,A$	$(R_x)_1 = 600\,\Omega$	$(R_x)_2 = ?$	$V_B = ?$

(أ)

$$\frac{I_g}{I_1} = \frac{\grave{R} + (R_x)_1}{\grave{R}}$$

$$\frac{3\,I_g}{I_g} = \frac{\grave{R} + 600}{\grave{R}}$$

$$3\,\grave{R} = \grave{R} + 600$$

$$\grave{R} = 300\,\Omega$$

$$\frac{I_g}{I_2} = \frac{\grave{R} + (R_x)_2}{\grave{R}}$$

$$\frac{4\,I_g}{3\,I_g} = \frac{300 + (R_x)_2}{300}$$

$$400 = 300 + (R_x)_2$$

$$(R_x)_2 = 100\,\Omega$$

(ب)

$$I_g = \frac{V_B}{\grave{R}}$$

$$10 \times 10^{-3} = \frac{V_B}{300}$$

$$V_B = 3\,V$$

* مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر والفولتميتر والأوميتر كما يلى :

	الأميتر	الفولتميتر	الأوميتر
الوظيفة	قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر	قياس فرق الجهد بين نقطتين	قياس قيمة مقاومة مجهولة
فكرة العمل	عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	يعتمد قياس مقاومة ما (R_x) على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة وشدة التيار عند ثبوت فرق الجهد تبعًا لقانون أوم $\left(I = \frac{V}{R_t}\right)$، فإذا ظل فرق الجهد ثابتًا ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار فى الدائرة بزيادة قيمة المقاومة R_x
المقاومة التى تتصل بملف الجلفانومتر	يوصل ملفه على التوازى بمقاومة صغيرة (مجزئ التيار R_s)	يوصل ملفه على التوالى بمقاومة كبيرة (مضاعف الجهد R_m)	يوصل ملفه على التوالى بمقاومة عيارية قيمتها محسوبة (R_c) ومقاومة متغيرة (R_v) وعمود كهربى مقاومته الداخلية (r)
طريقة التوصيل فى الدوائر	يوصل على التوالى فى الدائرة المراد قياس شدة التيار الكهربى المار فيها	يوصل على التوازى بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما	يوصل طرفى الجهاز بطرفى المقاومة المراد قياس قيمتها (R_x)
القانون المستخدم	$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$	$R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$	$I = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x + r}$
تدريج الجهاز	منتظم لأن $(\theta \propto I)$	منتظم لأن $(\theta \propto V)$	غير منتظم لأن $\left(I \propto \frac{1}{R' + R_x}\right)$





الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل 3

الحث الكهرومغناطيسى

الدرس الأول

- قانون فاراداى.
- القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم.

الدرس الثانى

- الحث المتبادل بين ملفين.
- الحث الذاتى لملف.

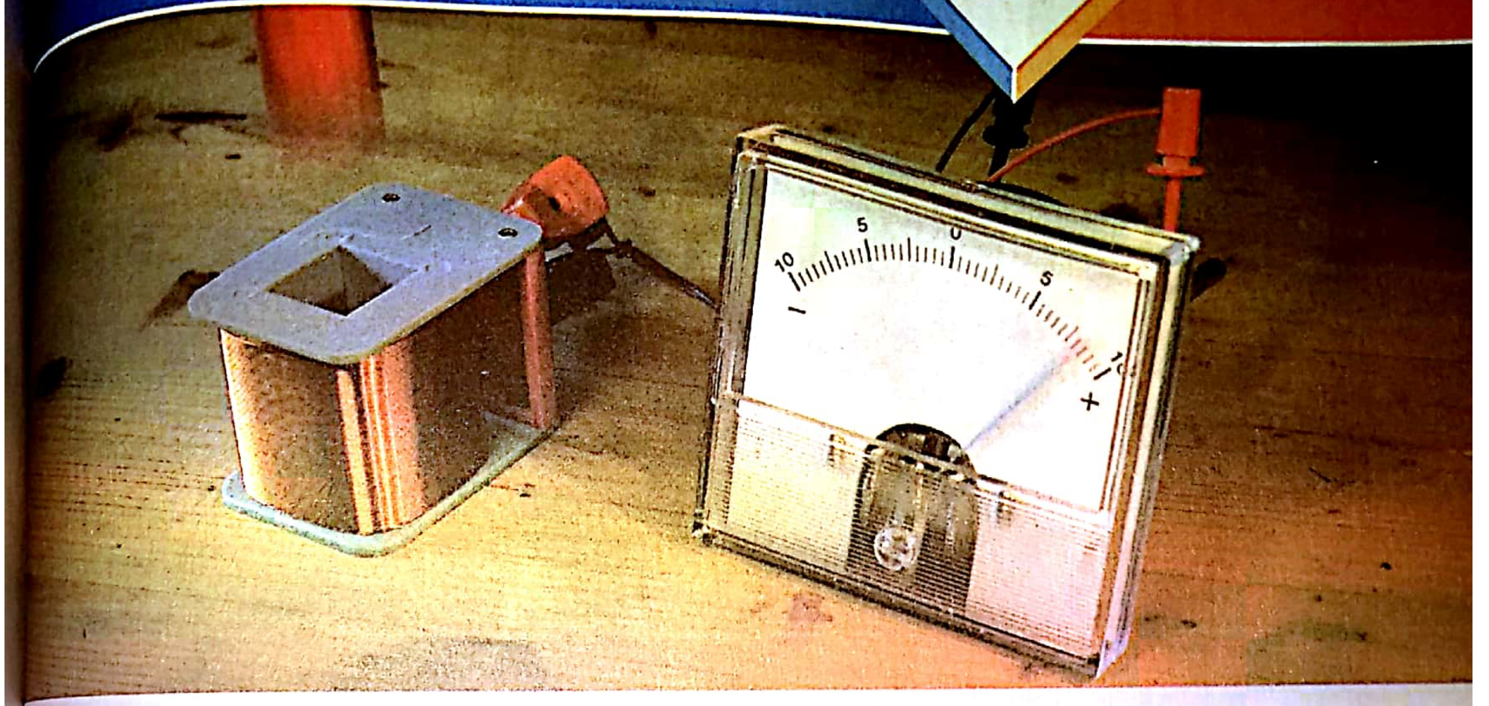
الدرس الثالث

المولد الكهربى.

الدرس الرابع

- المحول الكهربى.
- المحرك الكهربى.

• قانون فاراداى
• القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم



* درسنا فى الفصل السابق اكتشاف أورستد للتأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وتولد مجال مغناطيسى حول موصل يمر به تيار كهربى،

فهل يمكن لمجال مغناطيسى أن يولد فرق جهد بين طرفى موصل موضوع فى هذا المجال ليسرى تيارًا كهربيًا فى الموصل عند توصيله فى دائرة مغلقة ؟

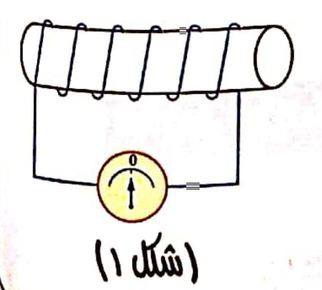
نعم، وهذا ما أثبته العالم فاراداى من خلال دراسة التأثير الناتج عن تغير المجال المغناطيسى المقطوع بواسطة موصل مع الزمن وأُطلق على هذه الظاهرة **الحث الكهرومغناطيسى**.

تجربة فاراداى لتوضيح الحث الكهرومغناطيسى

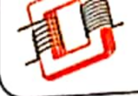
الغرض من التجربة : الحصول على قوة دافعة كهربية مستحثة فى ملف.

الخطوات والملاحظات :

1. قم بإعداد ملف من سلك من النحاس لفاته معزولة عن بعضها البعض، ووصل طرفى الملف بجلڤانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (شكل ١).

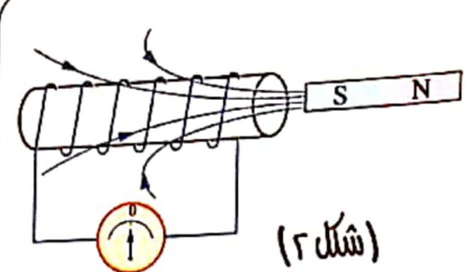


(شكل ١)

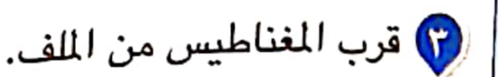


٢ ثبت مغناطيس بالقرب من الملف.

الملاحظة: لا ينحرف مؤشر الجلفانومتر (شكل ٢).

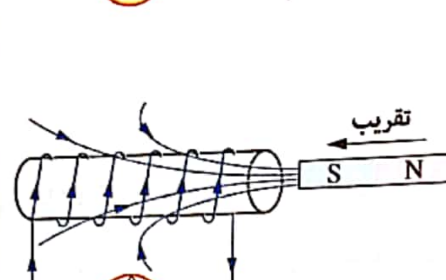


(شكل ٢)



٣ قرب المغناطيس من الملف.

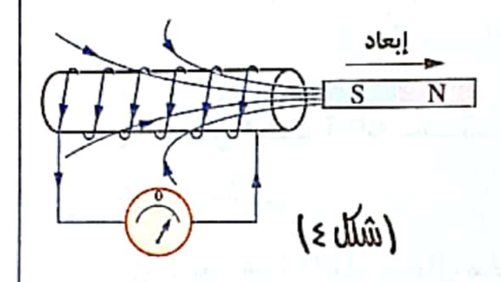
الملاحظة: ينحرف مؤشر الجلفانومتر لحظيًا في اتجاه معين (شكل ٣).



(شكل ٣)

٤ ابعد المغناطيس عن الملف.

الملاحظة: ينحرف المؤشر لحظيًا في الاتجاه المضاد (شكل ٤).



(شكل ٤)

٥ ثبت المغناطيس وحرك الملف نحو المغناطيس أو بعيدًا عنه.

الملاحظة: نلاحظ نفس الملاحظات السابقة في ٣ ، ٤.

٦ قم بزيادة سرعة أحدهما بالنسبة للآخر سواء في حالة التقريب أو الإبعاد.

الملاحظة: يزداد انحراف مؤشر الجلفانومتر.

الاستنتاج:

- تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة (تأثيرية) وكذلك تيار كهربي مستحث (تأثيري) في الملف نتيجة قطعه لفيض مغناطيسي متغير.
- يتوقف اتجاه التيار المستحث (التأثيري) على اتجاه الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس واتجاه المجال المغناطيسي للمغناطيس.

*** مما سبق يمكن تعريف الحث الكهرومغناطيسي كالتالي :**

الحث الكهرومغناطيسي

ظاهرة تولد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار كهربي مستحث في موصل في دائرة مغلقة نتيجة تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطع الموصل.

* يمكن تحديد :

1. اتجاه التيار المستحث المتولد فى ملف عند تغير الفيض المغناطيسى الذى يقطعه الملف باستخدام قاعدة لنز.
2. قيمة القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتوسطة المتولدة فى ملف عند تغير الفيض المغناطيسى الذى يقطعه الملف باستخدام قانون فاراداى.

قاعدة لنز

نص القاعدة :

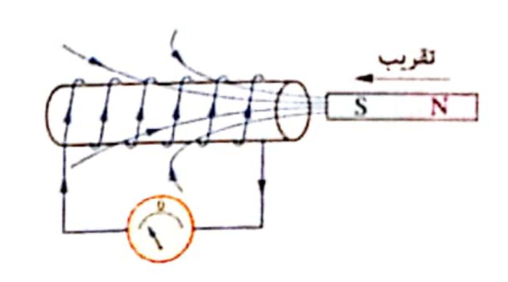
اتجاه التيار الكهربى المستحث يعاكس التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له.

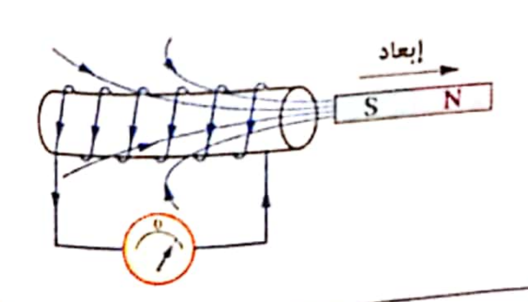
التفسير :

عند تقريب القطب الجنوبى لمغناطيس من ملف	عند إبعاد القطب الجنوبى لمغناطيس عن ملف
- يتولد فى الملف emf مستحثة ويمر به تيار مستحث. - يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم الزيادة فى الفيض المغناطيسى المؤثر.	- يتولد فى الملف emf مستحثة ويمر به تيار مستحث. - يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم النقص فى الفيض المغناطيسى المؤثر.

فيتكون عند طرف الملف القريب من المغناطيس

قطب مشابه للقطب المقترب (قطب جنوبى) وتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.	قطب مخالف للقطب المبتعد (قطب شمالى) وتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين على مقاومة حركة إبعاد هذا القطب.







ملحوظة

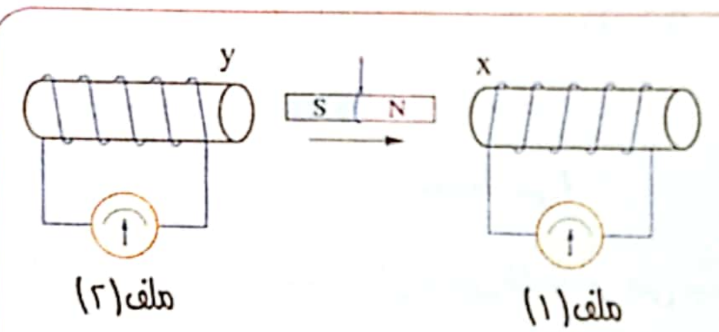
- **عند تقريب أو إبعاد مغناطيس من ملف متصل بدائرة كهربية مغلقة يتولد تيار كهربى مستحث فى الملف ويصبح لدينا مجالان مغناطيسيان، هما :**

(١) مجال مغناطيسى خارجى متغير يولد قوة دافعة كهربية مستحثة وتيار كهربى مستحث فى الموصل.

(٢) مجال مغناطيسى ينشأ من التيار المستحث المار فى الموصل.

مثال

الشكل المقابل يوضح ملفين يتصل كل منهما بجلفانومتر ذو ملف متحرك صفر تدريجه فى المنتصف وموضوع بينهما مغناطيس، إذا تحرك المغناطيس فى الاتجاه الموضح بالرسم :

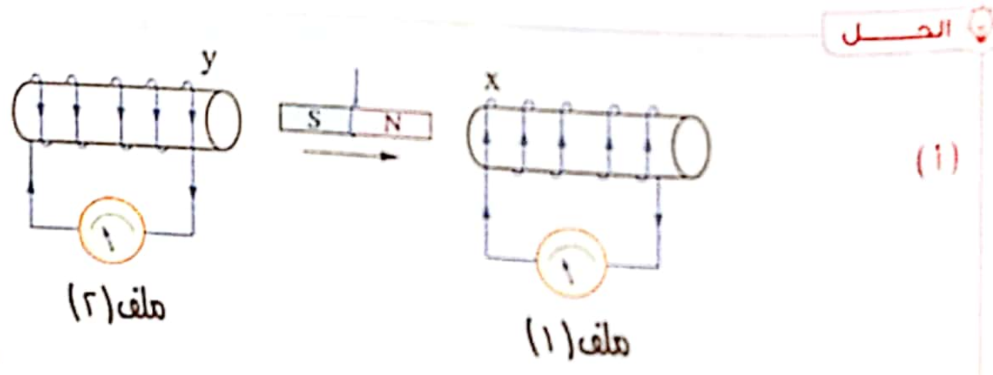


(أ) **حدد** على الرسم اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملفين.

(ب) **حدد** نوع الأقطاب المغناطيسية المتكونة عند الطرفين x ، y

الحل

(أ)



(ب) عند الطرف x يتكون **قطب شمالى**.

عند الطرف y يتكون **قطب شمالى**.

قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى

* يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية (emf) المستحثة طرديًا مع :

– المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض (المعدل الزمنى للتغير فى الفيض) :

$$emf \propto \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

– عدد لفات الملف الذى يقطع خطوط الفيض :

$$emf \propto N$$

$$\therefore emf = constant \times N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

* عند استخدام وحدات النظام الدولى تصبح قيمة ثابت التناسب مساوية للواحد الصحيح، فيكون :

(قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى)

$$emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

* لا تؤثر الإشارة السالبة فى قانون فاراداى على قيمة القوة الدافعة الكهربية المستحثة ولكن تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة وكذلك اتجاه التيار المستحث يعاكس التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له تبعًا لقاعدة لنز.

* مما سبق يمكن تعريف قانون فاراداى والوبر كالتالى :

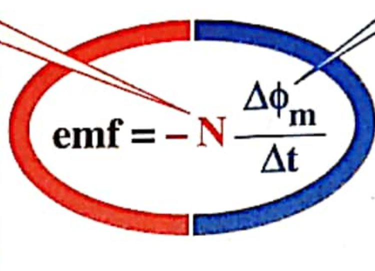
قانون فاراداى

القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف بالحث الكهرومغناطيسى تتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض المغناطيسى وكذلك مع عدد لفات الملف.

الوبر

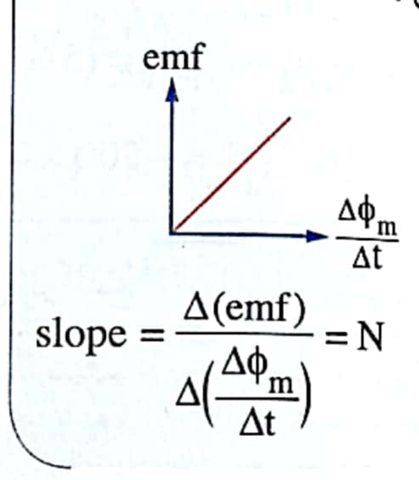
الفيض المغناطيسى الذى يخترق عموديًا ملف يتكون من لفة واحدة وعندما يتلاشى تدريجيًا بانتظام خلال ثانية واحدة يتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 1 فولت.

العوامل التى يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف



١ المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف الفيض المغناطيسى :

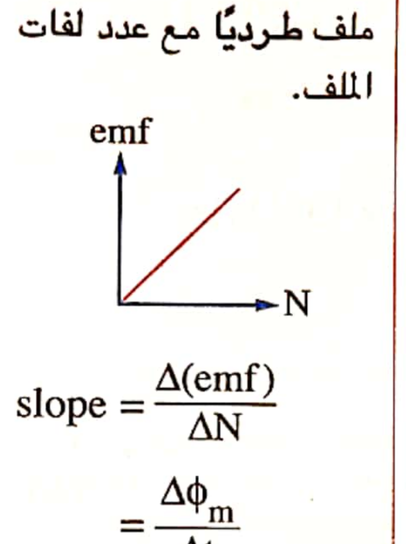
يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف طرديًا مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)} = N$$

٢ عدد لفات الملف :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف طرديًا مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta N}$$

$$= \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

مما سبق نستنتج أن :

- **يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة فى ملف يقطع خطوط مجال مغناطيسى عن طريق :**

(١) تغيير مقدار أو اتجاه المجال المغناطيسى المؤثر.

(٢) تغيير مساحة الملف المعرضة للمجال المغناطيسى.

(٣) تغيير زاوية ميل المجال المغناطيسى على مستوى الملف.

- **يمكن زيادة القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف عن طريق :**

(١) زيادة عدد لفات الملف.

(٢) زيادة النفاذية المغناطيسية للوسط (مثلًا استخدام قلب من الحديد).

(٣) زيادة سرعة الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس.

(٤) زيادة قوة المغناطيس المستخدم.

مثال

ملف عدد لفاته 200 لفة يقطع فيض مغناطيسى قدره 7×10^{-3} Wb فإذا تغير هذا الفيض ليصبح 5×10^{-3} Wb فى زمن قدره 0.1 s،

احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف.

الحـــل

$N = 200$ | $(\phi_m)_1 = 7 \times 10^{-3}$ Wb | $(\phi_m)_2 = 5 \times 10^{-3}$ Wb

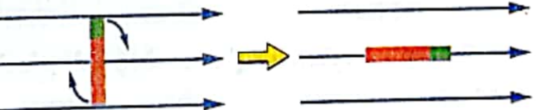
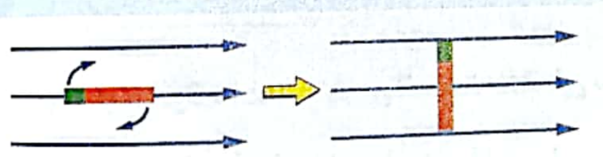
$\Delta t = 0.1$ s | $emf = ?$

$$\Delta\phi_m = (\phi_m)_2 - (\phi_m)_1 = (5 \times 10^{-3}) - (7 \times 10^{-3}) = -2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -200 \times \frac{-2 \times 10^{-3}}{0.1} = 4 \text{ V}$$

* بفرض أن الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف فى الوضع العمودى الابتدائى يساوى (+BA)، فإذا :

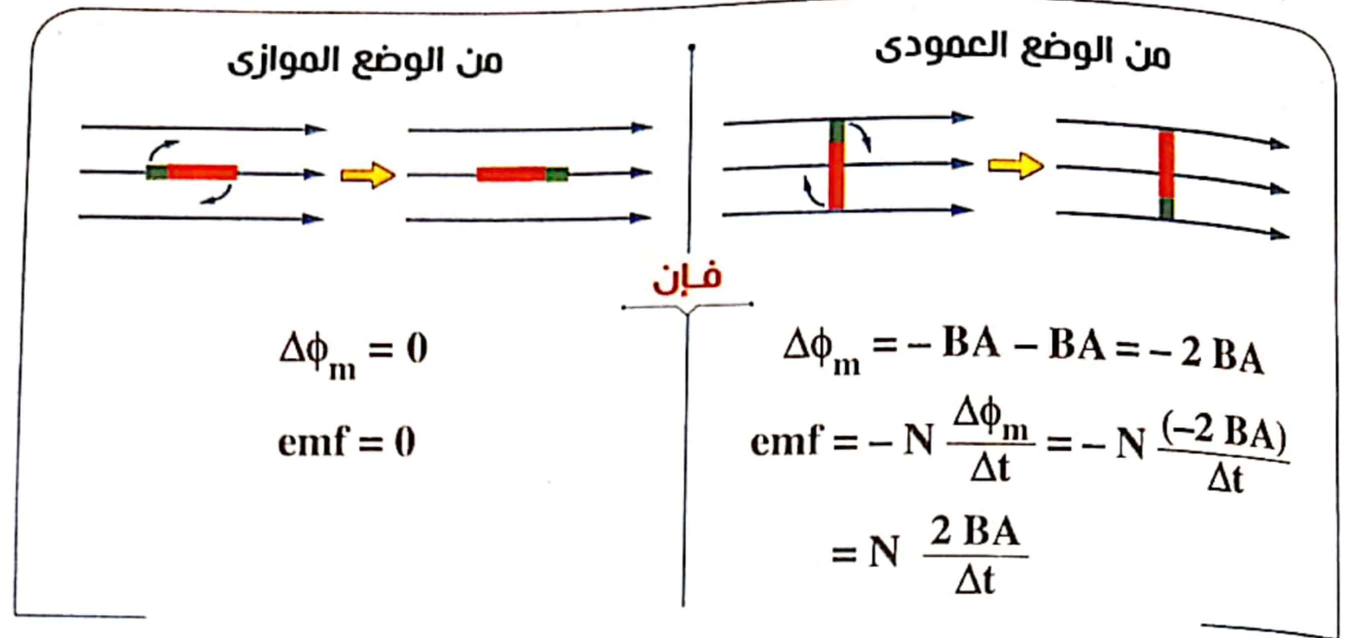
– أُدير الملف 90° ($\frac{1}{4}$ دورة) :

من الوضع العمودى	من الوضع الموازى
	
(أصبح الملف موازيًا للفيض أو نزع الملف من الفيض أو تلاشى الفيض)	(أصبح الملف عمودى على الفيض)

فإن

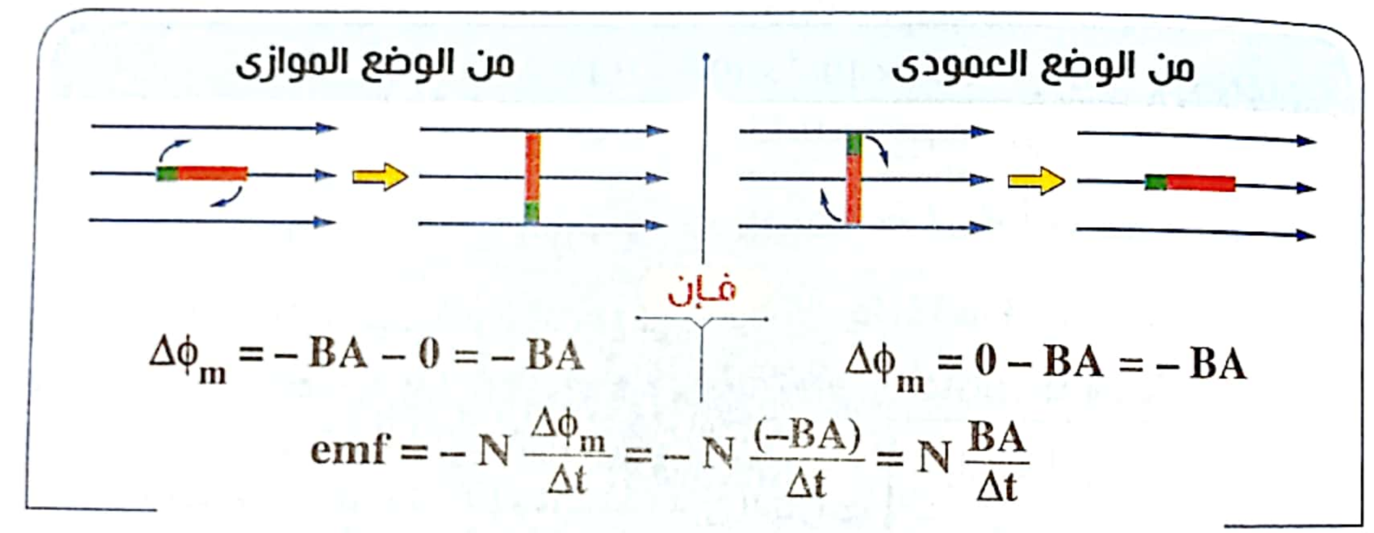
من الوضع العمودى	من الوضع الموازى
$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$	$\Delta\phi_m = BA - 0 = BA$
$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = N\frac{BA}{\Delta t}$	$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{BA}{\Delta t}$

- أدير الملف 180° ($\frac{1}{2}$ دورة) أو قُلب الملف فى الفيض أو عُكس اتجاه الفيض :



من الوضع العمودى	من الوضع الموازى
$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$	$\Delta\phi_m = 0$
$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-2BA)}{\Delta t} = N\frac{2BA}{\Delta t}$	$emf = 0$

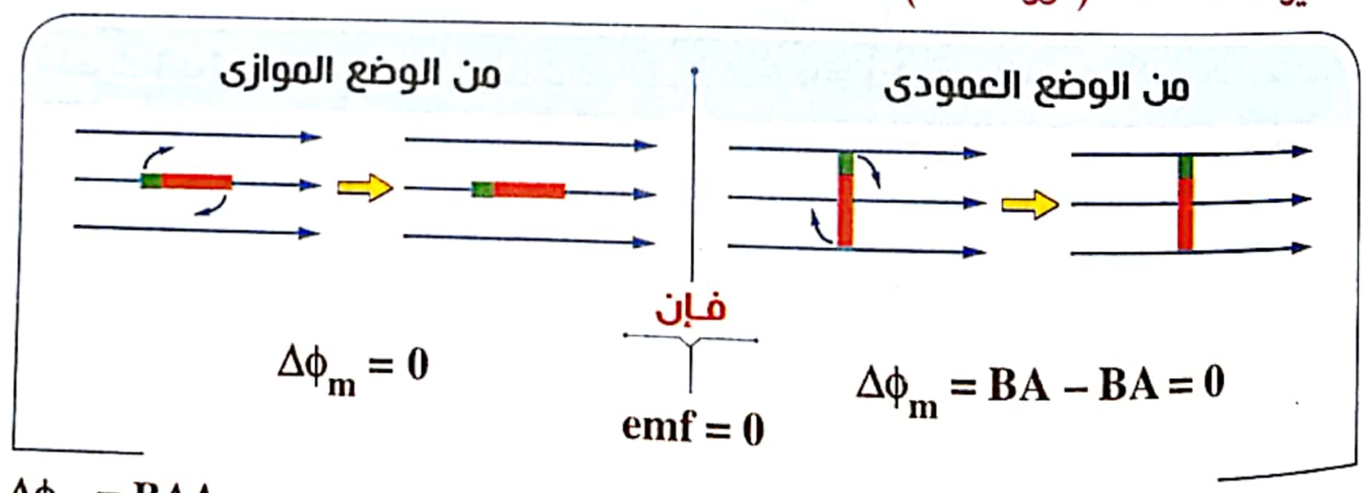
- أدير الملف 270° ($\frac{3}{4}$ دورة) :



من الوضع العمودى	من الوضع الموازى
$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$	$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = N\frac{BA}{\Delta t}$$

- أدير الملف 360° (دورة كاملة) :



من الوضع العمودى	من الوضع الموازى
$\Delta\phi_m = BA - BA = 0$	$\Delta\phi_m = 0$

$$emf = 0$$

- تغيرت مساحة الملف التى تقطع خطوط المجال : $\Delta\phi_m = B\Delta A$

- تغيرت كثافة الفيض المغناطيسى التى تقطع الملف : $\Delta\phi_m = A\Delta B$

مثال

ملف على شكل مربع طول ضلعه 10 cm يتكون من 500 لفة، وضع عموديًا على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 0.1 T، **احسب emf المستحثة المتولدة فيه إذا :**

(أ) قُلب الملف خلال 0.05 s (ب) دار الملف $\frac{1}{4}$ دورة خلال 0.025 s

(جـ) انعدم الفيض خلال 0.15 s (د) زادت كثافة الفيض إلى 0.3 T خلال 0.75 s

الحل

$l = 10\ cm$ | $N = 500$ | $B = 0.1\ T$ | $emf = ?$

(أ) $emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-2BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-2)\times0.1\times10^2\times10^{-4}}{0.05} = 20\ V$

(ب) $emf = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-0.1)\times10^{-2}}{0.025} = 20\ V$

(جـ) $emf = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-0.1)\times10^{-2}}{0.15} = 3.33\ V$

(د) $emf = -NA\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{-500\times10^{-2}\times(0.3-0.1)}{0.75} = -1.33\ V$

التيارات الدوامية Eddy Currents

◀ **الفكرة العلمية :** الحث الكهرومغناطيسي.

◀ **شرح الفكرة العلمية :**

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة تسمى **التيارات الدوامية**، تسبب ارتفاع درجة حرارة القطعة المعدنية.

التيارات الدوامية

التيارات الكهربية المستحثة التي تتولد في قطعة معدنية معرضة لفيض مغناطيسي متغير.

◀ **شروط حدوثها :**

تحريك قطعة معدنية في مجال مغناطيسي ثابت.

أو تعريض قطعة معدنية لمجال مغناطيسي متغير.

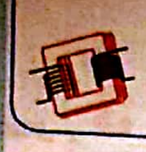
◀ **الاستخدام :** في أفران الحث لصهر الفلزات (المعادن).

◀ **الأضرار :** فقد جزء من الطاقة الكهربية على صورة طاقة حرارية.

◀ **التقليل من آثارها الضارة في الأجهزة الكهربية :**

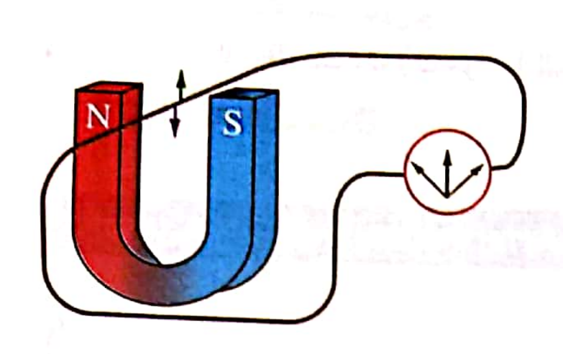
يلف الملف على قلب من الحديد المطاوع السيليكوني المصنوع على شكل شرائح رقيقة متوازية وموازية لمحور الملف ومعزولة عن بعضها،

لزيادة مقاومة القلب الحديدي مما يقلل من التيارات الدوامية، فتقل الطاقة الكهربية المستنفذة على صورة طاقة حرارية.



القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم

* عند تحريك سلك مستقيم فى مجال مغناطيسى بحيث يكون اتجاه السرعة عمودى على اتجاه المجال بحيث يقطع السلك خطوط الفيض المغناطيسى، فإن ذلك يؤثر على الإلكترونات الحرة فى السلك المتحرك فتندفع من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر وينشأ فرق فى الجهد بين طرفى السلك وبذلك تتولد emf مستحثة بين طرفيه، وإذا كان السلك فى دائرة كهربية مغلقة يمر تيار كهربى مستحث بالدائرة.



* يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث المتولد فى السلك باستخدام **قاعدة اليد اليمنى لفلمنج**.

قاعدة اليد اليمنى لفلمنج

اتجاه الحركة

اتجاه الفيض

اتجاه التيار

الاستخدام :

تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يتحرك عمودياً على فيض مغناطيسى.

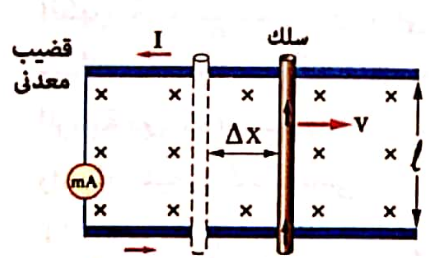
نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

اجعل أصابع اليد اليمنى متعامدة بحيث يشير الإبهام لاتجاه حركة السلك، والسبابة يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى وعندئذ تشير باقى الأصابع لاتجاه التيار الكهربى المستحث.



استنتاج الصيغة الرياضية لحساب emf المستحثة فى سلك مستقيم

* عند تحريك سلك مستقيم طوله l بسرعة v فى اتجاه عمودى على فيض مغناطيسى منتظم كثافته B «اتجاهه عمودى على الصفحة للداخل» كما بالشكل، فإذا كانت الإزاحة الحادثة Δx خلال زمن Δt :



$$\therefore emf = -\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -\frac{B\Delta A}{\Delta t} = -\frac{Bl\Delta x}{\Delta t}$$

$$\because \frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

$$\therefore emf = -Blv$$

(الإشارة السالبة وفقًا لقاعدة لنز)

وإذا كان اتجاه حركة السلك (سرعته) يصنع زاوية θ مع اتجاه المجال المغناطيسي فإن :

$$emf = -B\ell v \sin\theta$$

وبالتالي إذا كان السلك يتحرك موازيًا للمجال المغناطيسي فإن :

$$emf = -B\ell v \sin 0 = 0$$

أي لا تتولد emf مستحثة.

العوامل التي يتوقف عليها مقدار emf المستحثة المتولدة في سلك مستقيم يقطع فيض مغناطيسي

$$emf = -B\ell v \sin\theta$$

١ السرعة التي يتحرك بها السلك :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في سلك تناسبًا **طرديًا** مع السرعة التي يتحرك بها السلك.

emf – v

$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta v} = B\ell \sin\theta$$

٢ كثافة الفيض المغناطيسي :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في سلك تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسي.

emf – B

$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta B} = \ell v \sin\theta$$

٣ الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسي :

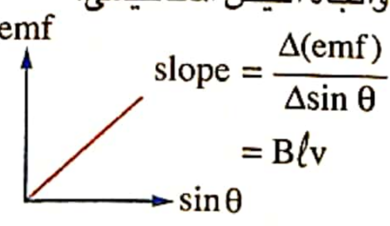
يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في سلك تناسبًا **طرديًا** مع جيب الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسي.

emf – sin θ

$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta \sin\theta} = B\ell v$$

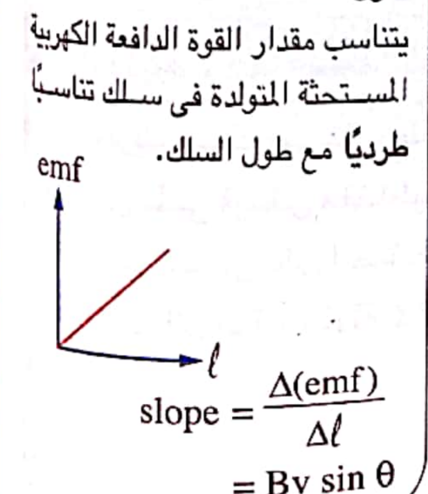
أو

تمثل العلاقة بين مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة والزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسي **بمنحنى جيبي.**



٤ طول السلك :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في سلك تناسبًا **طرديًا** مع طول السلك.

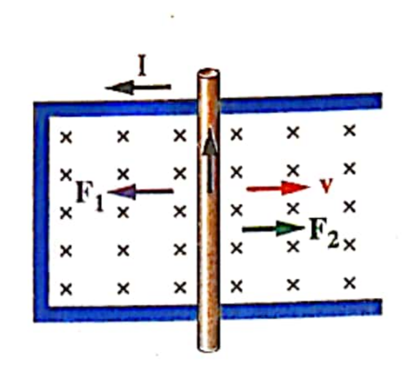


$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta \ell} = Bv \sin\theta$$

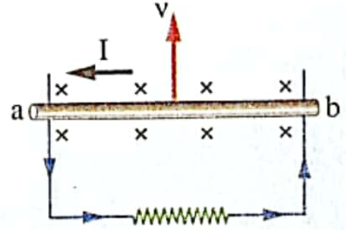


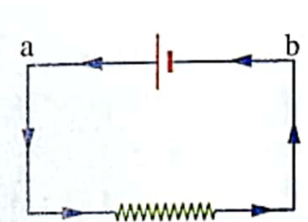
ملاحظات

* عند تحريك سلك بسرعة منتظمة (v) عموديًا على مجال مغناطيسى تتولد بين طرفى السلك emf مستحثة ينشأ عنها تيار كهربى مستحث فى السلك فتنشأ قوة مغناطيسية (F_1) عمودية على كل من التيار المستحث والمجال الخارجي، وللحفاظ على حركة السلك بسرعة منتظمة ينبغى أن تتساوى القوة المؤثرة (المحركة) على السلك (F_2) مع القوة المغناطيسية التى تنشأ عن التيار (F_1).



* عندما يتحرك موصل فى دائرة مغلقة بحيث يقطع خطوط مجال مغناطيسى يتولد بين طرفى الموصل قوة دافعة كهربية مستحثة أى يعمل الموصل كمصدر للتيار المار فى الدائرة فيكون جهد النقطة a أكبر من جهد النقطة b





مثال ١

دائرة كهربية تتكون من سلكين سميكين متوازيين المسافة بينهما 75 cm ومقاومة مقدارها 2 Ω وضع قضيب معدنى عموديًا على السلكين المتوازيين بحيث يغلق هذه الدائرة، فإذا كانت المساحة المحصورة بين السلكين عمودية على فيض مغناطيسى كثافته 0.18 T،

احسب قيمة القوة اللازمة لتحريك القضيب المعدنى بسرعة ثابتة مقدارها 1 m/s

الحل

$\ell = 75 \times 10^{-2}$ m | R = 2 Ω | B = 0.18 T | v = 1 m/s | **F = ?**

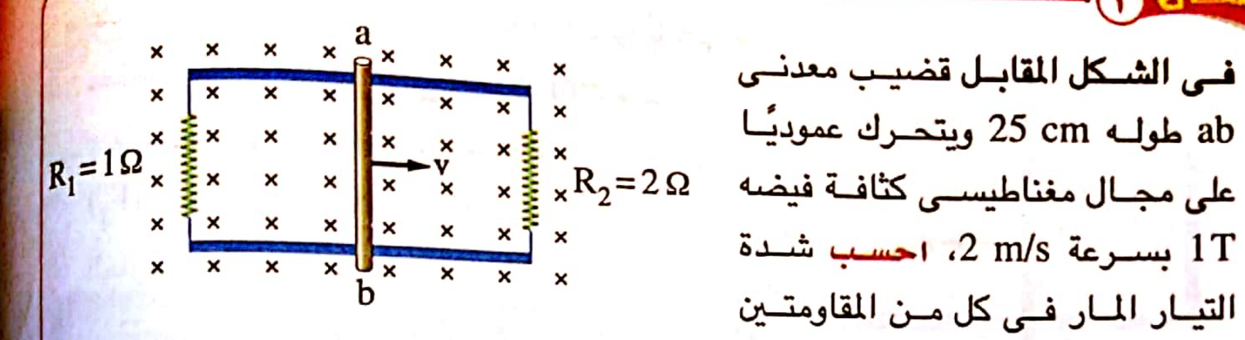
$$emf = -B\ell v = -0.18 \times 75 \times 10^{-2} \times 1 = -0.135\ V$$

$$I = \frac{emf}{R} = \frac{0.135}{2} = 0.0675\ A$$

$$F = BI\ell = 0.18 \times 0.0675 \times 75 \times 10^{-2} = \mathbf{9.11 \times 10^{-3}\ N}$$

مثال ٢

فى الشكل المقابل قضيب معدنى ab طوله 25 cm ويتحرك عموديًا على مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1T بسرعة 2 m/s، احسب شدة التيار المار فى كل من المقاومتين R_1 ، R_2 والقضيب ab



الحل

$l = 25\times10^{-2}$ m | v = 2 m/s | B = 1 T | $R_1 = 1\,\Omega$ | $R_2 = 2\,\Omega$ | $I_1 = ?$ | $I_2 = ?$ | $I = ?$

$$emf = -Blv = -1\times25\times10^{-2}\times2 = -0.5\ V$$

$$I_1 = \frac{emf}{R_1} = \frac{0.5}{1} = 0.5\ A$$

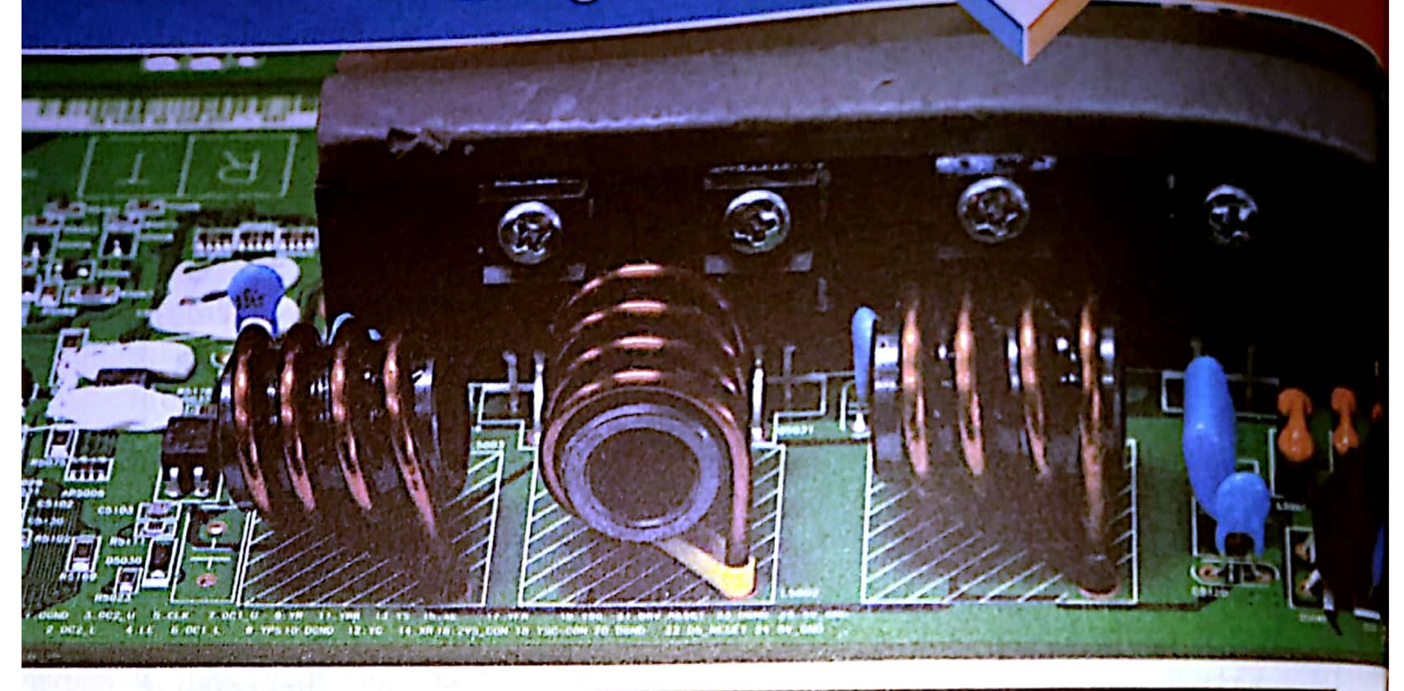
$$I_2 = \frac{emf}{R_2} = \frac{0.5}{2} = 0.25\ A$$

$$I = I_1 + I_2 = 0.5 + 0.25 = 0.75\ A$$



الفصل 3 الدرس الثانى

• الحث المتبادل بين ملفين
• الحث الذاتى لملف

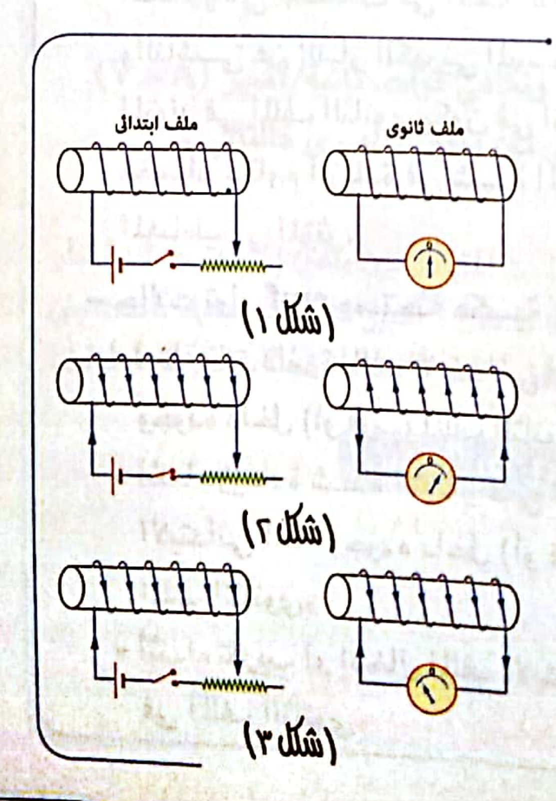


الحث المتبادل بين ملفين Mutual Induction

• إذا وضع ملفين أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر فإن تغير شدة التيار الكهربى فى أحد الملفين يولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الآخر ويطلق على هذه الظاهرة الحث المتبادل بين ملفين، ويمكن التحقق منها عمليًا من خلال إجراء التجربة التالية :

تجربة لدراسة الحث المتبادل بين ملفين

الخطوات والملاحظات :



(شكل ١)
(شكل ٢)
(شكل ٣)

١ وصل ملف ببطارية ومفتاح وريوستات (الملف الابتدائى) ووصل ملف آخر بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (الملف الثانوى) (شكل ١).

٢ اغلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين (شكل ٢).

٣ افتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد (شكل ٣).

٤ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فيه بإنقاص مقاومة الريوستات.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

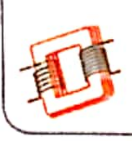
٥ انقص شدة التيار المار فى الملف الابتدائى بزيادة مقاومة الريوستات.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

٦ ابعد الملف الابتدائى عن الملف الثانوى.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

٧ قرب الملف الابتدائى من الملف الثانوى.
الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

الاستنتاج :
يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث فى ملف ثانوى بتأثير ملف آخر ابتدائى، حيث تتولد :

قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية وتيار مستحث عكسى	قوة دافعة كهربية مستحثة طردية وتيار مستحث طردى
- عند زيادة شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون فى اتجاه مضاد ليقاوم الزيادة فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر. - **حالات تولد emf مستحثة عكسية :** • لحظة غلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى. • أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى. • أثناء تقريب أو إدخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.	- عند تناقص شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون فى نفس الاتجاه ليقاوم النقص فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر. - **حالات تولد emf مستحثة طردية :** • لحظة فتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى. • أثناء إنقاص شدة التيار فى الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى. • أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائى من الملف الثانوى.



* مما سبق يمكن تعريف الحث المتبادل بين ملفين كالتالى :

الحث المتبادل بين ملفين

التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين أو متداخلين يمر بأحدهما تيار متغير فيتأثر به الملف الثانى ويتولد فيه تيار مستحث يقاوم التغير الحادث فى الملف الأول.

حساب معامل الحث المتبادل بين ملفين

* عند تغير شدة التيار فى الملف الابتدائى بمعدل زمنى $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ يتولد فى الملف الثانوى $(emf)_2$ مستحثة تتناسب طرديًا مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى المار به : $(emf)_2 \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$

$$\because \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad \therefore (emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = \text{constant} \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

حيث : (M) معامل الحث المتبادل بين ملفين.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»)

$$\therefore \quad M = \frac{(emf)_2}{\Delta I_1/\Delta t}$$

* وحدة قياس معامل الحث المتبادل هى الهنرى (H) وتكافئ ڤولت. ثانية/أمبير (V.s/A).
* مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث المتبادل بين ملفين والهنرى كالتالى :

معامل الحث المتبادل بين ملفين (M)

مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى أحد الملفين عند تغير شدة تيار الملف الآخر بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

الهنرى

معامل الحث المتبادل بين ملفين إذا تغيرت شدة تيار أحدهما بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بالحث بين طرفى الملف الآخر emf مستحثة مقدارها 1 ڤولت.

العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث المتبادل بين ملفين

1. معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.
2. حجم الملفين (طول الملف، مساحة اللفة).
3. عدد لفات الملفين.
4. المسافة الفاصلة بين الملفين.

مثال

ملفان متجـاوران x ، y معامل الحث المتبادل بينهما 0.2 H وشدة التيـار المار فـى الملف x تساوى 4 A، فإذا انعدمت شدة التيار فى هذا الملف فى زمن قدره 0.01 s، احسب متوسط القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف y

الحل

$M = 0.2\ H$ | $(I_x)_1 = 4\ A$ | $(I_x)_2 = 0$ | $\Delta t = 0.01\ s$ | $(emf)_y = ?$

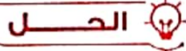
$$(emf)_y = -M\frac{\Delta I_x}{\Delta t} = -0.2 \times \frac{0-4}{0.01} = 80\ V$$

إرشاد

* يمكن تعيين معامل الحث المتبادل بين ملفين فى حالة عدم إعطاء الزمن كالتالى :

$$\because (emf)_2 = -N_2\frac{(\Delta\phi_m)_2}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore M\Delta I_1 = N_2(\Delta\phi_m)_2$$



ملفان متجاوران X ، Y عدد لفات الملف Y هو 1500 لفة، فإذا مر تيار شدته 5 A فى الملف X نتج عنه فيض 3×10^{-3} Wb فى الملف Y، احسب معامل الحث المتبادل بين الملفين.

الحل

$N_Y = 1500$ | $\Delta I_X = 5\ A$ | $(\Delta\phi_m)_Y = 3 \times 10^{-3}\ Wb$ | $M = ?$

$$M\Delta I_X = N_Y(\Delta\phi_m)_Y$$

$$M \times 5 = 1500 \times 3 \times 10^{-3}$$

$$M = 0.9\ H$$

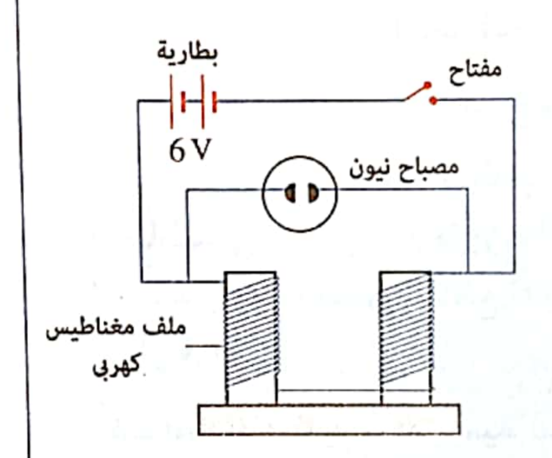
الحث الذاتى لملف Self Induction

* إذا وصل ملف فى دائرة كهربية فإن تغير شدة التيار الكهربى فى هذا الملف يسبب تولد قوة دافعة مستحثة فيه تقاوم هذا التغير ويطلق على هذه الظاهرة **الحث الذاتى لملف**.

ويمكن التحقق منها من خلال إجراء التجربة التالية :

تجربة لدراسة الحث الذاتى لملف

الخطوات والملاحظات :



١ وصل ملف مغناطيس كهربى قوى (عدد لفاته كبير) على التوالى مع بطارية (6 V) ومفتاح، ومصباح نيون (يعمل بجهد يصل إلى 180 V) على التوازى بين طرفى الملف.

٢ اغلق الدائرة ليمر تيار كهربى فى الملف.

الملاحظة : عدم توهج مصباح النيون.

التفسير : لأن نمو التيار يؤدى لتولد قوة دافعة مستحثة عكسية صغيرة بين طرفى الملف فيكون فرق الجهد بين طرفى المصباح أقل من فرق الجهد اللازم لتشغيله.

٣ افتح الدائرة.

الملاحظة : مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح وتوهج مصباح النيون لفترة صغيرة جدًا.

التفسير : لأن اضمحلال التيار يؤدى إلى تولد emf مستحثة طردية كبيرة نسبيًا بين طرفى الملف بالحث الذاتى نظرًا لكبر عدد لفات الملف $(emf \propto N)$ وكبر المعدل الزمنى للتغير فى شدة التيار $(emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t})$ فينشأ تيار مستحث طردى فى نفس اتجاه التيار الأصلى يمر على شكل شرر كهربى بين طرفى المفتاح.

* مما سبق يمكن تعريف الحث الذاتى لملف كالتالى :

الحث الذاتى لملف

التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الملف عند تغير شدة التيار المار فيه بحيث يقاوم هذا التغير.

ملاحظات

* **فى تجربة الحث الذاتى تكون القوة الدافعة الكهربية المستحثة الطردية فى الملف أكبر دائمًا من القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فيه.**

لأن معدل انهيار التيار الأصلى أكبر من معدل نمو التيار فى هذه الحالة.

* **لا تصل شدة التيار إلى القيمة العظمى فى الملف لحظة غلق الدائرة كما لا ينعدم التيار لحظة فتح الدائرة.**

لتولد emf مستحثة عكسية لحظة الغلق تؤخر لحظة وصول التيار للقيمة العظمى وتولد emf مستحثة طردية لحظة فتح الدائرة تؤخر انهيار التيار.

* **نمو التيار فى سلك مستقيم أسرع من نموه فى ملف لحظة غلق الدائرة.**

لأن السلك المستقيم لا يتولد بين طرفيه emf مستحثة لحظة نمو التيار حيث إن المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى السلك لا يقطع السلك نفسه، أما فى حالة الملف فإن نمو الفيض القاطع له يولد emf مستحثة عكسية تعمل على إطالة زمن نمو التيار فيه.

* **تُلف أسلاك المقاومات القياسية لفًا مزدوجًا.**

لتلافى تأثير الحث الذاتى فى الأسلاك حيث يلغى المجال الناتج عن مرور التيار فى أى لفة المجال الناتج عن مرور التيار فى اللفة المجاورة لها.

حساب معامل الحث الذاتى لملف

* **عند تغير شدة التيار المار فى ملف بمعدل $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ يتولد فى الملف بالحث الذاتى emf مستحثة تتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى :**

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

∵ المعدل الزمنى للتغير فى الفيض يتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى للتغير فى التيار :

$$\frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf = constant \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore \mathbf{emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

حيث : (L) معامل الحث الذاتى للملف.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»).

$$\therefore \quad L = \frac{emf}{\Delta I / \Delta t}$$

- وحدة قياس معامل الحث الذاتى هى الهنرى.
- مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث الذاتى لملف والهنرى كالتالى :

معامل الحث الذاتى لملف (L)

مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة بين طرفى الملف عندما تتغير شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

الهنرى

معامل الحث الذاتى لملف إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بين طرفيه بالحث emf مستحثة مقدارها 1 فولت.

- يمكن حساب معامل الحث الذاتى لملف من العلاقة :

$$L = \frac{\mu A N^2}{l}$$

حيث : (μ) معامل النفاذية المغناطيسية للوسط، (A) مساحة وجه الملف، (N) عدد لفات الملف، (l) طول الملف.

العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث الذاتى لملف

$$L = \mu \frac{AN^2}{l}$$

١ عدد لفات الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى لملف تناسبًا طرديًا مع مربع عدد لفات الملف.

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{\Delta N^2} = \frac{\mu A}{l}$$

٢ مساحة وجه الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى لملف تناسبًا طرديًا مع مساحة وجه الملف.

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{\Delta A} = \frac{\mu N^2}{l}$$

٣ طول الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى لملف تناسبًا عكسيًا مع طول الملف.

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{\Delta(\frac{1}{l})} = \mu A N^2$$

٤ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

(ثابت للوسط الواحد)

يتناسب معامل الحث الذاتى لملف تناسبًا طرديًا مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{\Delta \mu} = \frac{AN^2}{l}$$



احسب معامل الحث الذاتى لملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 40 A/s

الحل

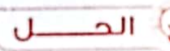
$emf = 10\ V$ | $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 40\ A/s$ | $L = ?$

$$L = \frac{emf}{\Delta I/\Delta t} = \frac{10}{40} = 0.25\ H$$



ملف حلزونى طوله 31.4 cm وعدد لفاته 1000 لفة ومساحة كل لفة من لفاته $20\ cm^2$، احسب معامل الحث الذاتى له

(علمًا بأن : معامل النفاذية المغناطيسية للهواء $4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A ، $\pi = 3.14$).



الحل

$l = 31.4 \times 10^{-2}\ m$ | $N = 1000$ | $A = 20 \times 10^{-4}\ m^2$

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$ | $L = ?$

$$L = \frac{\mu A N^2}{l} = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 20 \times 10^{-4} \times (1000)^2}{31.4 \times 10^{-2}}$$



$$= 8 \times 10^{-3}\ H$$



ملف حث معامل حثه الذاتى 0.02 H ومقاومته 12 Ω يتصل بطرفى بطارية قوتها الدافعة الكهربية 6 V ومقاومتها الداخلية مهملة، احسب :

(أ) معدل نمو التيار فى الملف لحظة غلق الدائرة.

(ب) معدل نمو التيار فى الملف لحظة وصول التيار إلى 75% من قيمته العظمى.

(جـ) شدة التيار المار فى دائرة الملف عندما يكون معدل نمو التيار 120 A/s



الحـــل

$L = 0.02\ H$	$R = 12\ \Omega$	$V_B = 6\ V$

(أ) لحظة غلق الدائرة تكون شدة التيار المار فى الدائرة مساوية للصفر ويكون معدل نمو التيار قيمة عظمى وبالتالى تكون القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فى الدائرة قيمة عظمى وتساوى القوة الدافعة الكهربية للبطارية.

$I = 0$

$\therefore (emf)_{\text{مستحثة}} = V_B = 6\ V$

$(emf)_{\text{مستحثة}} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

$6 = 0.02 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 300\ A/s$

(ب) يتعين التيار المار فى الدائرة من العلاقة : $I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}}{R}$

وبالتالى عندما يصل التيار إلى 0.75 من قيمته العظمى تكون V قيمتها 0.75 من قيمتها العظمى :

$V = 0.75\ V_B = V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}$

$\therefore (emf)_{\text{مستحثة}} = V_B - 0.75\ V_B = 0.25\ V_B$

$(emf)_{\text{مستحثة}} = \frac{25}{100} V_B = \frac{25}{100} \times 6 = 1.5\ V$

$(emf)_{\text{مستحثة}} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

$1.5 = 0.02\frac{\Delta I}{\Delta t}$

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 75\ A/s$

(جـ) $(emf)_{\text{مستحثة}} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -0.02 \times 120 = -2.4\ V$

$I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}}{R} = \frac{6 - 2.4}{12} = 0.3\ A$



إرشاد

* يمكن تعيين معامل الحث الذاتى لملف فى حالة عدم إعطاء الزمن كالتالى :

$$\because emf = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -N\frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$\therefore L\Delta I = N\Delta \phi_m$$

مثال

ملفان متجاوران A ، B عدد لفاتهما 100 لفة، 200 لفة على الترتيب فإذا مر تيار شدته 2 A فى الملف A نتج عنه فيض فى نفس الملف 3×10^{-4} Wb وفى الملف B فيض 1.5×10^{-5} Wb، **أوجد :**

(أ) معامل الحث الذاتى للملف A

(ب) معامل الحث المتبادل بين الملفين.

(جـ) متوسط emf فى الملف B عندما ينعدم التيار فى الملف A فى 0.1 s

الحل

$N_A = 100$ | $N_B = 200$ | $\Delta I_A = 2$ A | $(\Delta\phi_m)_A = 3 \times 10^{-4}$ Wb

$(\Delta\phi_m)_B = 1.5 \times 10^{-5}$ Wb | $L_A = ?$ | $M = ?$ | $(emf)_B = ?$

(أ)

$$L_A \Delta I_A = N_A (\Delta\phi_m)_A$$

$$L_A = N_A \frac{(\Delta\phi_m)_A}{\Delta I_A} = \frac{100 \times 3 \times 10^{-4}}{2} = \mathbf{1.5 \times 10^{-2}\ H}$$

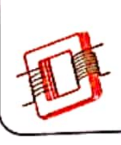
(ب)

$$M\Delta I_A = N_B (\Delta\phi_m)_B$$

$$M = N_B \frac{(\Delta\phi_m)_B}{\Delta I_A} = \frac{200 \times 1.5 \times 10^{-5}}{2} = \mathbf{1.5 \times 10^{-3}\ H}$$

(جـ)

$$(emf)_B = -M\frac{\Delta I_A}{\Delta t} = \frac{-1.5 \times 10^{-3} \times (0-2)}{0.1} = \mathbf{0.03\ V}$$



إرشاد

* المقارنة بين معاملى الحث الذاتى لملفين عند ثبوت معامل النفاذية :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{A_1 N_1^2 \ell_2}{A_2 N_2^2 \ell_1} = \frac{r_1^2 N_1^2 \ell_2}{r_2^2 N_2^2 \ell_1}$$

مثال

ملفا حث طولهما 125 cm ، 100 cm وعدد لفاتهما 5 لفات و 8 لفات على الترتيب ونصف قطر وجهيهما 4 cm ، 2 cm على الترتيب،

احسب النسبة بين معاملى الحث الذاتى لهما.

الحل

$\ell_1 = 125$ cm | $\ell_2 = 100$ cm | $N_1 = 5$ | $N_2 = 8$ | $r_1 = 4$ cm

$r_2 = 2$ cm | $\frac{L_1}{L_2} = ?$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1^2 N_1^2 \ell_2}{r_2^2 N_2^2 \ell_1} = \frac{(4)^2 \times (5)^2 \times 100}{(2)^2 \times (8)^2 \times 125} = \frac{5}{4}$$

تطبيق على الحث الذاتى لملف

مصباح الفلورسنت

الاستخدام : فى الإضاءة.

شرح الفكرة العلمية :

يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة فى ملف حث فى أنبوبة مفرغة من الهواء وبها غاز خامل تحت ضغط منخفض، مما يسبب تصادمات بين ذراته تؤدى إلى تأينها وعند اصطدام هذه الأيونات مع سطح الأنبوبة المطلى بمادة فلورسية ينبعث ضوء مرئى.



الفصل 3

الدرس الثالث

المولد الكهربى



مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو) AC Generator

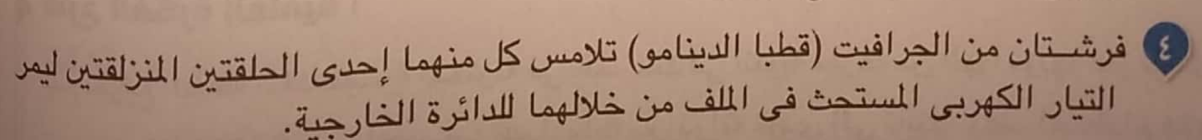
الاستخدام : تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية.

التركيب :

١ مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى).

٢ ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال.

٣ حلقتا انزلاق معدنيتان تتصل كل منهما بإحدى نهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف.

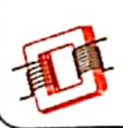


٤ فرشتان من الجرافيت (قطبا الدينامو) تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين ليمر التيار الكهربى المستحث فى الملف من خلالهما للدائرة الخارجية.

الأساس العلمى (فكرة العمل) : الحث الكهرومغناطيسى.

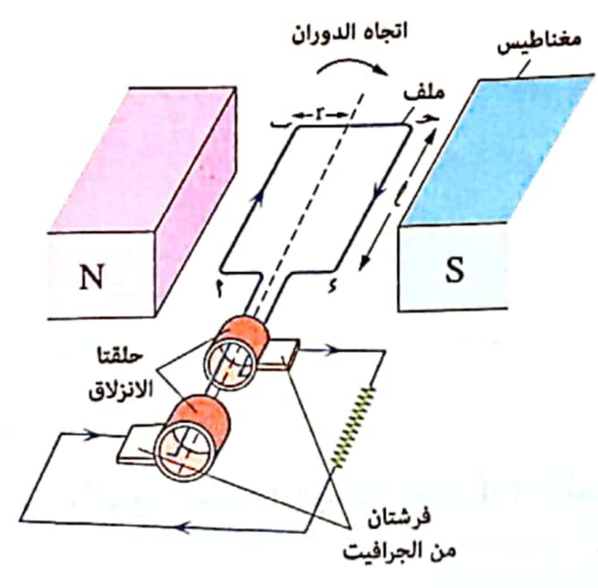
شرح فكرة العمل :

عند دوران ملف بين قطبى المغناطيس يتغير الفيض المغناطيسى المقطوع بواسطة الملف مع الزمن فتتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة وتيار كهربى مستحث.



حساب القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية المتولدة فى ملف الدينامو

* عند دوران مستوى الملف بسرعة زاوية ω يدور الضلعان أب ، حـ ء المثلان لطولى الملف بسرعة خطية v فى فيض مغناطيسى كثافته B، فإذا كانت الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية وخطوط الفيض هى θ فإن emf المستحثة المتولدة فى تلك اللحظة فى كل من الضلعين هى : $emf = B\ell v \sin\theta$



حيث : (ℓ) طول الضلع أب أو حـ ء

بينما الضلعان ب حـ ، أ ء لا تتولد فيهما emf مستحثة لأن اتجاه سرعة السلكين دائمًا موازى لاتجاه المجال المغناطيسى،

وبالتالى تصبح emf المستحثة المتولدة فى اللفة الواحدة : $emf = 2B\ell v \sin\theta$

$\because v = \omega r$

حيث : (ω) السرعة الزاوية وتساوى ($2\pi f$) وتقاس بوحدة (rad/s)، (f) تردد دوران الملف، (r) نصف قطر الدائرة التى يدور فيها الملف حول محوره (نصف طول الضلع أ ء أو ب حـ).

$\therefore emf = 2B\ell\omega r \sin\theta$

$\because A$ (مساحة وجه الملف) $= \ell \times 2r$

$\therefore emf = BA\omega \sin\theta$

وعندما يكون عدد لفات الملف N تكون emf اللحظية :

$$emf = NBA\omega \sin\theta$$

فإذا كان

- مستوى الملف عمودى على خطوط الفيض فإن العمودى على الملف يكون موازيًا للمجال $(\theta = 0°)$:

$$emf = NBA\omega \sin 0 = 0$$

- مستوى الملف موازى لخطوط الفيض فإن العمودى على الملف يكون عموديًا على المجال $(\theta = 90°)$:

$$emf = NBA\omega \sin 90 = NBA\omega$$

أى

- تنعدم القوة الدافعة الكهربية المستحثة.
- تصبح القوة الدافعة الكهربية المستحثة قيمة عظمى.

* **مما سبق يتضح أنه يمكن تعيين emf المستحثة اللحظية بدلالة $(emf)_{max}$ كالتالى :**

$$emf = (emf)_{max} \sin \theta$$
$$= NBA\omega \sin \theta = NBA\omega \sin \omega t$$
$$= NBA \times 2\pi f \sin 2\pi ft$$

$\pi \rightarrow \frac{22}{7}$ ، $\pi \rightarrow 180°$

$$\therefore \quad emf = (emf)_{max} \sin 2\pi ft$$

حيث (θ) هى :

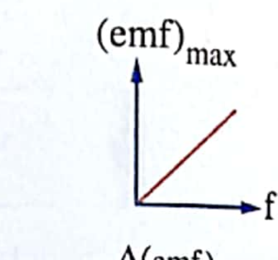
١. الزاوية المحصورة بين مستوى الملف والعمودى على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
٢. الزاوية المحصورة بين اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى والعمودى على مستوى الملف.
٣. الزاوية المحصورة بين اتجاه السرعة الخطية للضلعين الطوليين للملف واتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
٤. زاوية دوران الملف مبتدءًا من وضع الصفر.

العوامل التى يتوقف عليها مقدار emf المستحثة فى ملف دينامو التيار المتردد

$$emf = NBA \times 2\pi f \sin\theta$$

١ التردد أو السرعة الزاوية التى يتحرك بها الملف :

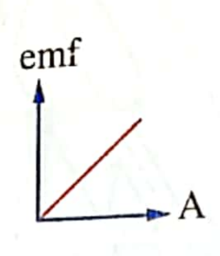
يتناسب مقدار emf المستحثة العظمى تناسبًا **طرديًا** مع التردد أو السرعة الزاوية التى يتحرك بها الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)_{max}}{\Delta f} = NBA \times 2\pi$$

٢ مساحة وجه الملف :

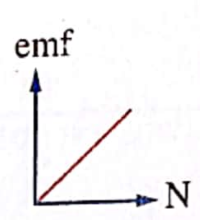
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا **طرديًا** مع مساحة وجه الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta A} = NB \times 2\pi f \sin\theta$$

٣ عدد لفات الملف :

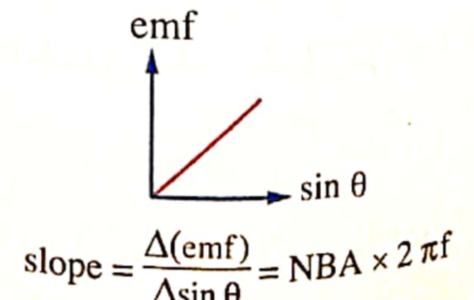
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta N} = BA \times 2\pi f \sin\theta$$

٤ الزاوية بين العمودى على مستوى الملف والفيض المغناطيسى أو الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية واتجاه الفيض :

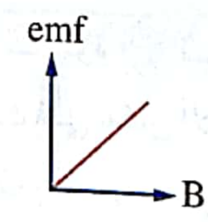
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا طرديًا مع جيب الزاوية بين العمودى على مستوى الملف والفيض المغناطيسى أو جيب الزاوية بين اتجاه السرعة اللحظية واتجاه الفيض.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta \sin\theta} = NBA \times 2\pi f$$

٥ كثافة الفيض المغناطيسى للمغناطيس المستخدم :

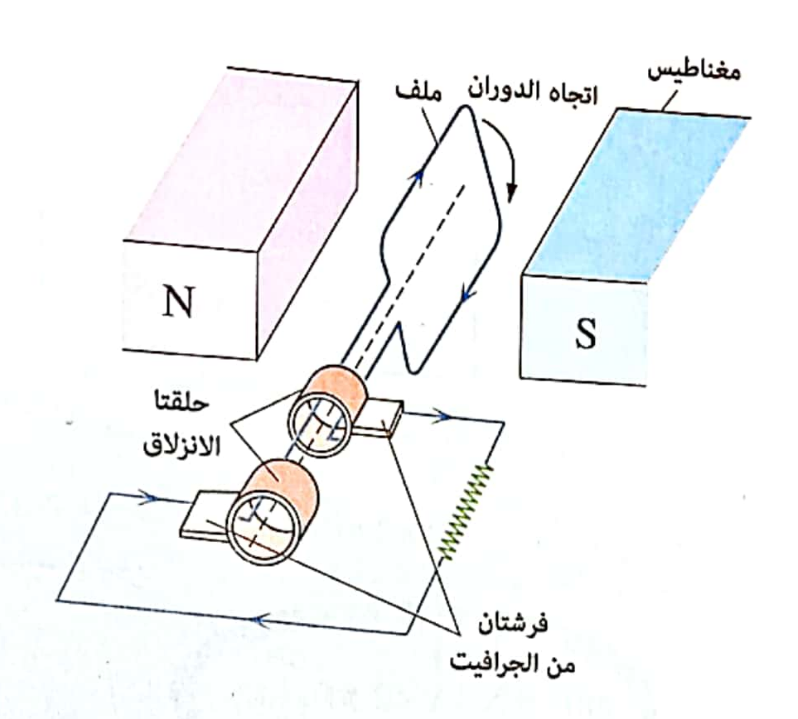
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسى للمغناطيس المستخدم.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta B} = NA \times 2\pi f \sin\theta$$

القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى المولد خلال دورة كاملة

(١) عندما يدور الملف بين قطبى المغناطيس مبتدءًا من الوضع الذى يكون فيه مستواه عمودى على خطوط الفيض $(\theta = 0°)$ كما بالشكل التالى :



يكون $emf = (emf)_{max} \sin 0 = 0$ وبالتالى ينعدم كل من emf المستحثة وشدة التيار المستحث.

(٢) عندما يدور الملف تزداد قيمة emf تدريجيًا حتى يصبح مستوى الملف موازيًا لخطوط الفيض تصبح emf قيمة عظمى وكذلك شدة التيار المستحث.

(٣) باستمرار دوران الملف حتى يصبح مستواه عموديًا على خطوط الفيض مرة أخرى تقل قيمة emf حتى تنعدم تدريجيًا وكذلك شدة التيار المستحث.

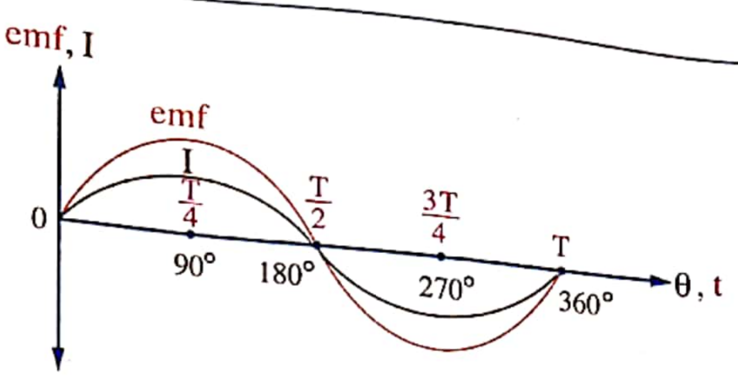
(٤) تتكرر الخطوة (٢) ثم الخطوة (٣) ولكن يكون اتجاه كل من emf المستحثة والتيار المستحث فى عكس الاتجاه الأول، وبذلك يتم الملف دورة كاملة خلال زمن قدره T ويمكن تمثيل ذلك بمنحنى جيبى كما يلى :

وضع الملف	القوة الدافعة الكهربية المستحثة	التمثيل البيانى
$t = 0$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{T}{4}$	قيمة عظمى	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{T}{2}$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{3T}{4}$	قيمة عظمى (فى الاتجاه المضاد)	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = T$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ

مما سبق نستنتج أن :

القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبيًا مع الزاوية θ (كما بالشكل)، حيث :

- تكون قيمة عظمى عند $(\theta = 90°, 270°)$.
- تنعدم عند $(\theta = 0°, 180°, 360°)$.



التيار المستحث يساوى صفر عندما تكون (emf = 0)، ويكون قيمة عظمى عندما تكون emf قيمة عظمى **ويرجع ذلك إلى أن** التيار المستحث يتناسب طرديًا مع القوة الدافعة المستحثة، وبالتالى فإن التيار المستحث اللحظى يحسب من العلاقة :

$$I = I_{max} \sin \theta = I_{max} \sin 2\pi ft$$

- عدد مرات وصول التيار المتردد للصفر خلال الثانية بدءًا من وضع الصفر = 2 f + 1
- عدد مرات وصول التيار المتردد لقيمة عظمى خلال الثانية بدءًا من الوضع العمودى = 2 f
- التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، ويعرف **بالتيار المتردد**.

التيار المتردد

التيار الذى تتغير شدته دوريًا من الصفر إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف دورة ثم ينعكس اتجاهه وتزداد شدته إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف الدورة الثانى ويتكرر ذلك بنفس الكيفية كل دورة.

* **من الشكل البيانى السابق نجد أن التيار المتردد :**

– يصنع خلال الثانية الواحدة عدد من الذبذبات (الدورات) الكاملة يطلق عليها **التردد (f)** ، ويتعين من العلاقة :

$$f = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن الكلى}}$$

ووحدة قياس التردد هى هيرتز (Hz) ويكافئ $ثانية^{-1}$

– يستغرق زمن لعمل ذبذبة كاملة يطلق عليه **الزمن الدورى (T)**، ويتعين من العلاقة :

$$T = \frac{\text{الزمن الكلى}}{\text{عدد الدورات}} = \frac{1}{f}$$

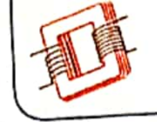
* **من هنا يمكن تعريف كل من تردد التيار المتردد والزمن الدورى كالتالى :**

التردد (f)

عدد الذبذبات (الدورات) الكاملة التى يصنعها التيار المتردد فى الثانية الواحدة.

الزمن الدورى (T)

الزمن الذى يستغرقه التيار المتردد فى عمل ذبذبة (دورة) كاملة.



ملاحظات

* يختلف تردد التيار من بلد لآخر، فتردد التيار المستخدم فى مصر هو 50 Hz
* يمكن تعيين القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية بدلالة السرعة الخطية لحركة الضلعين الطوليين لملف الدينامو من العلاقة :

$$emf = 2\,NB\ell v \sin\theta$$

حيث : (ℓ) طول ضلع ملف الدينامو، (v) السرعة الخطية لملف الدينامو.

مثال ١

ملف فى مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها $0.21\ m^2$ يدور الملف بتردد 50 دورة فى الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضه $10^{-3}\ weber/m^2$، **احسب** القيمة العظمى للقوة الدافعة المستحثة، **ثم احسب** قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما تكون الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية واتجاه الفيض 30°

الحل

$N = 100$ | $A = 0.21\ m^2$ | $f = 50\ Hz$ | $B = 10^{-3}\ weber/m^2$

$\theta = 30°$ | $(emf)_{max} = ?$ | $emf = ?$

$$(emf)_{max} = NBA\omega = NBA \times 2\pi f$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6\ V$$

$$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 6.6 \times \sin 30 = 3.3\ V$$

مثال ٢

دينامو تيار متردد ملفه مستطيل الشكل طوله 50 cm وعرضه 30 cm وعدد لفاته 400 لفة يدور بمعدل 360 دورة فى الدقيقة داخل مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.25 T، فإذا كان ضلعا الملف الطويلان يدوران حول محور موازى لطوله بسرعة خطية 4 m/s ، **احسب :**

(أ) القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة.

(ب) قيمة القوة الدافعة الكهربية اللحظية عند ميل اتجاه السرعة الخطية للملف بزاوية 45° على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.

(جـ) قيمة القوة الدافعة الكهربية اللحظية بعد مرور $\frac{1}{720}$ ثانية من وضع الصفر.

الحل

$l = 50$ cm	$r = 15$ cm	$N = 400$	$f = \frac{360}{60}$ Hz	$B = 0.25$ T
$v = 4$ m/s	$\theta = 45°$	$t = \frac{1}{720}$ s	$(emf)_{max} = ?$	$emf = ?$

(أ)

$$(emf)_{max} = 2NBlv$$

$$= 2 \times 400 \times 0.25 \times 50 \times 10^{-2} \times 4 = 400 \text{ V}$$

(ب)

$$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 400 \sin 45 = 282.84 \text{ V}$$

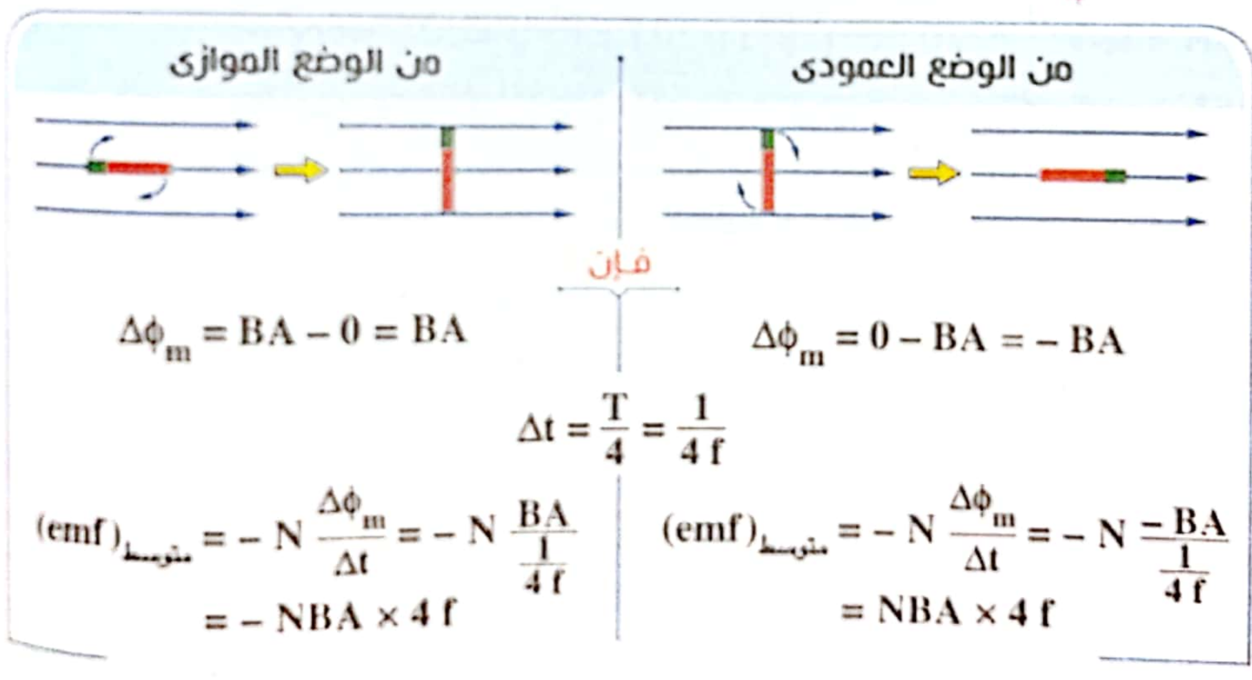
(جـ)

$$emf = (emf)_{max} \sin 2\pi f t = 400 \sin\left(2 \times 180 \times \frac{360}{60} \times \frac{1}{720}\right)$$

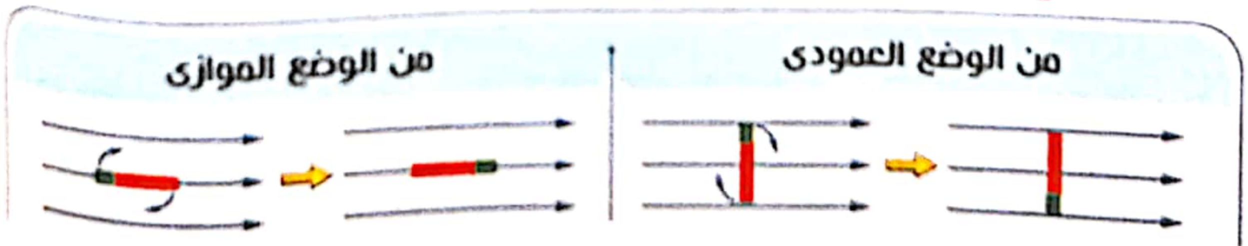
$$= 20.93 \text{ V}$$

* بفرض أن الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف فى الوضع العمودى الإبتدائى يساوى (BA+)، تتعين القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتوسطة فى ملف الدينامو إذا أدير الملف :

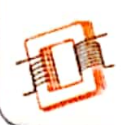
- $90°$ ($\frac{1}{4}$ دورة) :



- $180°$ ($\frac{1}{2}$ دورة) :







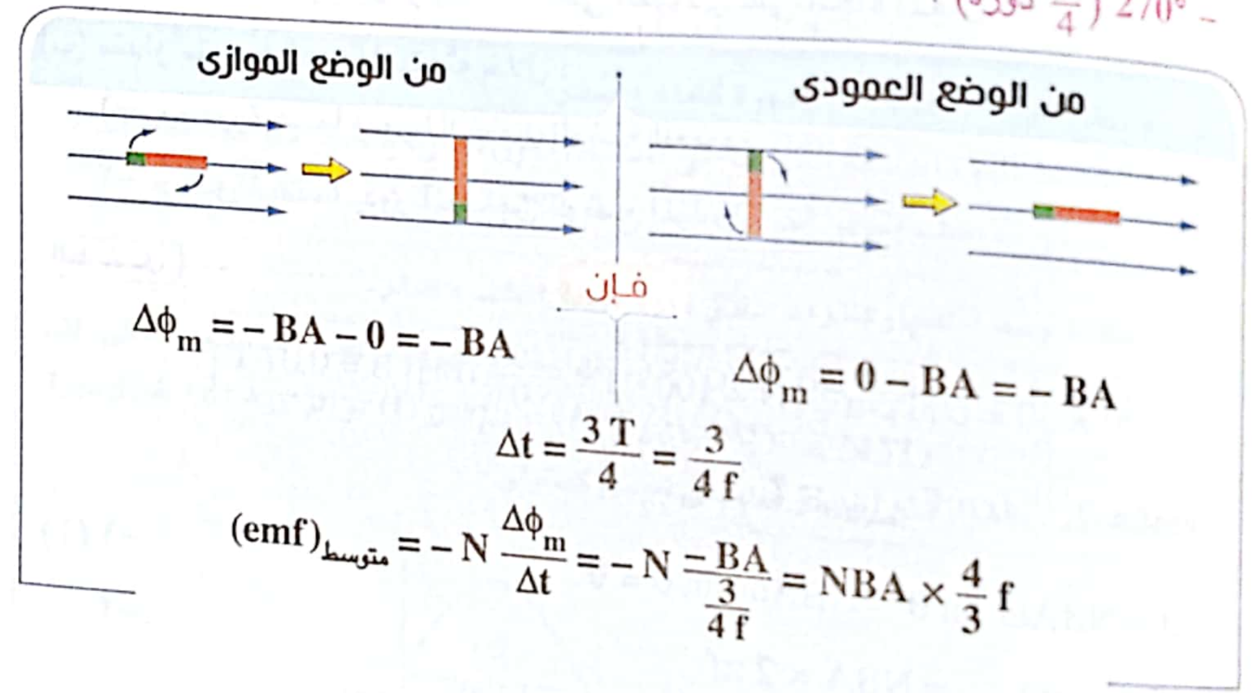
فإن

$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$	$\Delta\phi_m = 0$

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$$

$(emf)_{\text{متوسط}} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-2BA}{\frac{1}{2f}} = NBA \times 4f$	$(emf)_{\text{متوسط}} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{0}{\frac{1}{2f}} = 0$

- 270° ($\frac{3}{4}$ دورة) :

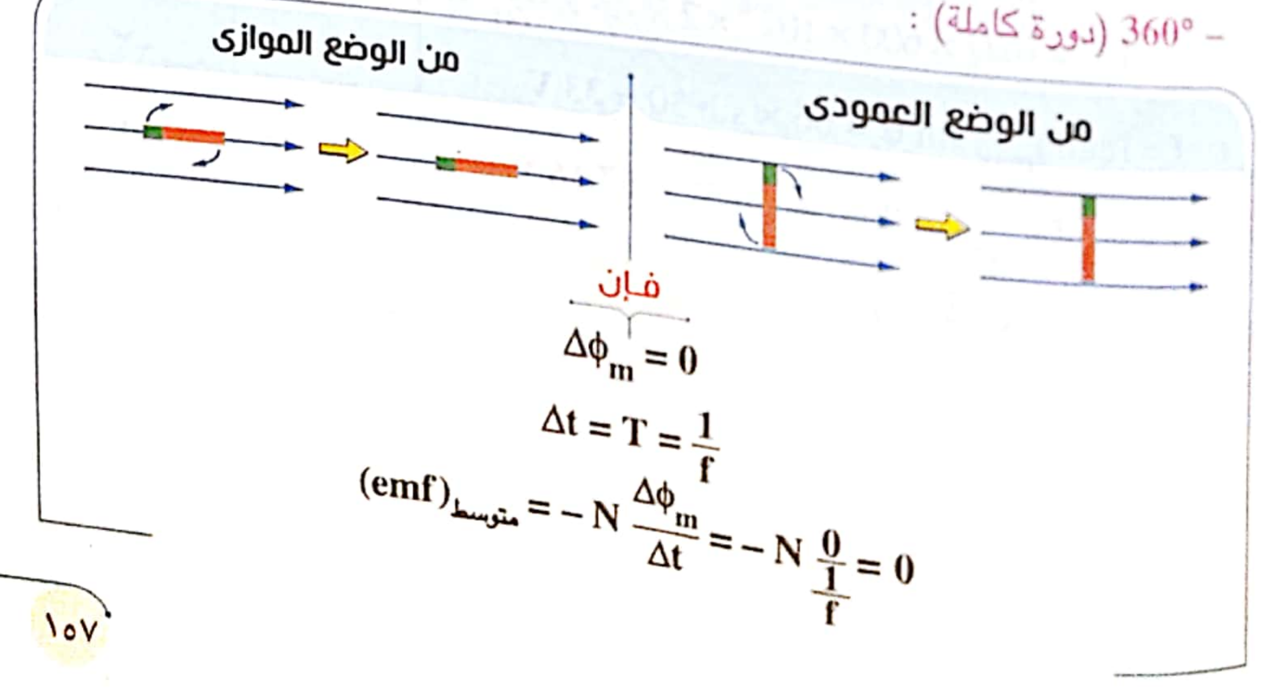


$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$	$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$

$$\Delta t = \frac{3T}{4} = \frac{3}{4f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-BA}{\frac{3}{4f}} = NBA \times \frac{4}{3}f$$

- 360° (دورة كاملة) :



$$\Delta\phi_m = 0$$

$$\Delta t = T = \frac{1}{f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{0}{\frac{1}{f}} = 0$$

مثال

ملف مستطيل لدينامو تيار متردد طوله 30 cm وعرضه 20 cm ، عدد لفاته 100 لفة يدور فى مجال مغناطيسى بسرعة 1500 لفة فى الدقيقة، فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسى 0.07 T، **أوجد :**

(أ) قيم القوة الدافعة المستحثة اللحظية فى الملف عندما يمر بالأوضاع الآتية :

١- مستوى الملف عموديًا على المجال.

٢- مستوى الملف موازيًا للمجال.

٣- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على اتجاه المجال.

٤- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على العمودى على اتجاه المجال.

(ب) مقدار متوسط emf المستحثة خلال :

١- ربع دورة عندما يدور الملف من الوضع العمودى.

٢- $\frac{3}{4}$ دورة عندما يدور الملف من الوضع الموازى.

الحل

$A = 20 \times 30 = 600\ cm^2$ | $N = 100$ | $f = \frac{1500}{60}\ Hz$ | $B = 0.07\ T$

$emf = ?$ | $(emf)_{متوسط} = ?$

(أ) ١-
$emf = NBA\omega \sin\theta = NBA\omega \sin 0 = \mathbf{0}$

٢-
$emf = (emf)_{max} = NBA \times 2\pi f$

$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{1500}{60} = \mathbf{66\ V}$

٣-
$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 66 \times \sin 30 = \mathbf{33\ V}$

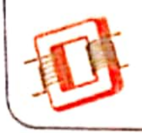
٤-
$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 66 \sin 60 = \mathbf{57.16\ V}$

(ب) ١-
$(emf)_{متوسط} = NBA \times 4f$

$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 4 \times \frac{1500}{60} = \mathbf{42\ V}$

٢-
$(emf)_{متوسط} = NBA \times \frac{4}{3} f$

$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times \frac{4}{3} \times \frac{1500}{60} = \mathbf{14\ V}$



ملاحظات

* مبتدءاً من وضع الصفر يكون مقدار متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال $\frac{1}{4}$ دورة = متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال $\frac{1}{2}$ دورة.

لأن متوسط القوة الدافعة الكهربية خلال $\frac{1}{4}$ دورة يحسب من العلاقة :

$\left((emf)_{\frac{1}{4}} = N\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)_{\frac{1}{4}} = N\frac{\phi_m}{\frac{T}{4}}\right)$ وتضاعف التغير فى الفيض المغناطيسى خلال $\frac{1}{2}$ دورة يقابله تضاعف للزمن الحادث فيه، فيكون معدل التغير فى الفيض المغناطيسى كما هو دون تغير حيث $\left((emf)_{\frac{1}{2}} = N\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)_{\frac{1}{2}} = N\frac{2\phi_m}{\frac{T}{2}} = N\frac{\phi_m}{\frac{T}{4}}\right)$

---

* متوسط القوة الدافعة خلال دورة كاملة = صفر.

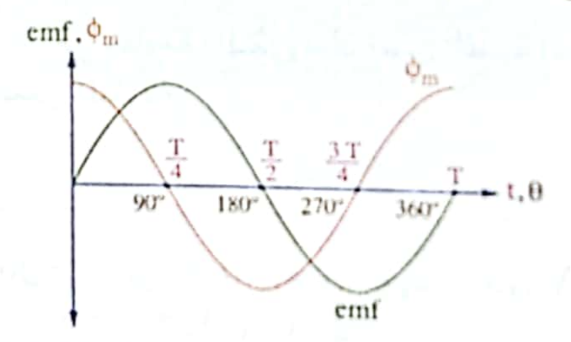
لأن متوسط القوة الدافعة الكهربية فى النصف الأول للدورة يساوى متوسط القوة الدافعة الكهربية فى النصف الثانى للدورة ويضاده فى الاتجاه فتكون محصلتهما = صفر.

---

* القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة للملف = صفر.

---

* تمثل العلاقة البيانية بين كل من القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف الدينامو (emf) أو الفيض المغناطيسى (ϕ_m) مع الزمن (t) أو الزاوية (θ) خلال دورة كاملة مبتدءاً من وضع الصفر بمنحنى جيبى كما يلى :



القيمة الفعالة للتيار Effective Current

* تتغير قيمة التيار من $+I_{max}$ إلى $-I_{max}$ ، وبالتالى تكون القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة تساوى صفر $(I_{(متوسط)} = 0)$، بينما القدرة الكهربية المستنفذة خلال دورة كاملة لا تساوى الصفر.

لأن الطاقة الكهربية تستنفذ كطاقة حرارية نتيجة حركة الشحنة الكهربية داخل الموصل، ويمكن التعبير عن شدة التيار المتردد بقيمة التيار الموحد الاتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى فى مقاومة معينة، وهذه القيمة تسمى **القيمة الفعالة للتيار (I_{eff})** وتساوى 0.707 من القيمة العظمى للتيار.

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_{max}$$

أى أن :

وبالتالى يمكن تعريف القيمة الفعالة للتيار المتردد كالتالى :

القيمة الفعالة للتيار المتردد

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس الطاقة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة وخلال نفس الزمن.

أو

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس القدرة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة.

* نظرًا لأن التيار يتناسب طرديًا مع القوة الدافعة الكهربية، فإن القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية تتعين من العلاقة :

$$(emf)_{eff} = \frac{(emf)_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\ (emf)_{max}$$

وبالتالى يمكن تعريف القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية للتيار المتردد كالتالى :

القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية للتيار المتردد

فرق الجهد المستمر بين طرفى مقاومة والذى يولد نفس الطاقة الحرارية التى يولدها فرق الجهد المتردد بين طرفى نفس المقاومة خلال نفس الزمن.

أو

فرق الجهد المستمر بين طرفى مقاومة والذى يولد نفس القدرة الحرارية التى يولدها فرق الجهد المتردد بين طرفى نفس المقاومة.

مثال

إذا كانت شدة التيار الفعال فى دائرة 10 A وفرق الجهد الفعال 240 V،
احسب القيمة العظمى لكل من شدة التيار وفرق الجهد.

الحل

$I_{eff} = 10\ A$, $(emf)_{eff} = 240\ V$, $I_{max} = ?$, $(emf)_{max} = ?$

$I_{eff} = 0.707\ I_{max}$, $10 = 0.707\ I_{max}$

$$I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14\ A$$

$(emf)_{eff} = 0.707\ (emf)_{max}$, $240 = 0.707\ (emf)_{max}$

$$(emf)_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.46\ V$$



إرشاد

* لحساب القدرة الكهربية المستنفذة فى مقاومة :

$$P_w = (emf)_{eff} I_{eff} = I_{eff}^2 R = \frac{(emf)_{eff}^2}{R}$$

* لحساب الطاقة الكهربية المستنفذة خلال دورة كاملة فى مقاومة :

$$W = P_w T = \frac{P_w}{f}$$

مثال

إذا كانت القوة الدافعة الكهربية المستحثة الناتجة من دينامو تيار متردد تعطى من العلاقة :

$$emf = 250 \sin 21600\, t$$

احسب :

(أ) القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربية.

(ب) القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية.

(جـ) تردد التيار.

(د) السرعة الزاوية.

(هـ) الطاقة الكهربية المستنفذة فى مقاومة $10\ \Omega$ خلال دورة كاملة للدينامو.

الحل

(أ) $(emf)_{max} = 250\ V$

(ب) $(emf)_{eff} = \frac{(emf)_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{250}{\sqrt{2}} = 176.78\ V$

(جـ) $\theta = 360\, ft = 21600\, t$

$f = 60\ Hz$

(د) $\omega = 2\pi f = 2 \times \frac{22}{7} \times 60 = 377.14\ rad/s$

(هـ) $W = \frac{(emf)_{eff}^2 T}{R} = \frac{(176.78)^2 \times \frac{1}{60}}{10} = 52.09\ J$

تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى

* تتطلب كثير من التطبيقات الكهربية استخدام تيار مستمر (DC) وليس تيار متردد (AC)، لذلك يتم تحويل التيار المتردد متغير الشدة والاتجاه إلى تيار موحد الاتجاه ويطلق على هذه العملية تقويم التيار الكهربى المتردد،

تقويم التيار الكهربى المتردد

تحويل التيار الكهربى المتردد الناتج من الدينامو إلى تيار موحد الاتجاه فى الدائرة الخارجية.

ويتم ذلك بتحويل دينامو التيار المتردد إلى :

١ دينامو تيار موحد الاتجاه متغير الشدة.

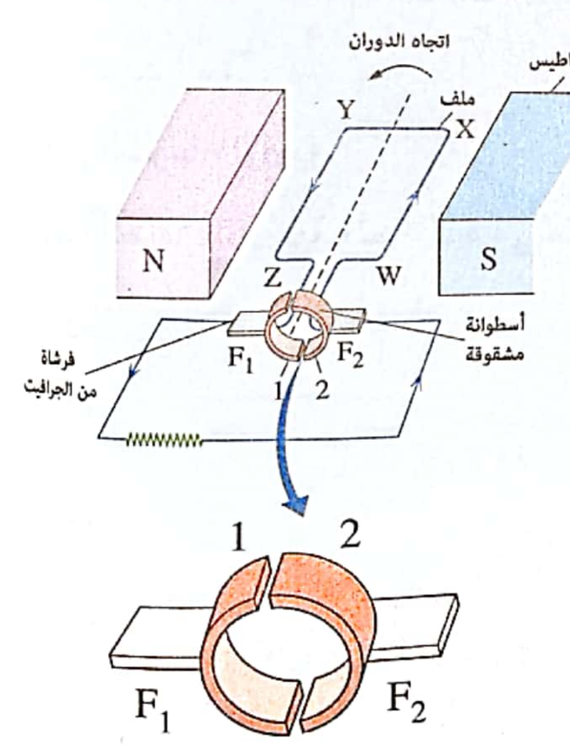
٢ دينامو تيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.

١ دينامو التيار موحد الاتجاه متغير الشدة

الاستخدام :

الحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه متغير الشدة، والذى يستخدم فى تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهربى لمركباتها.

التركيب :



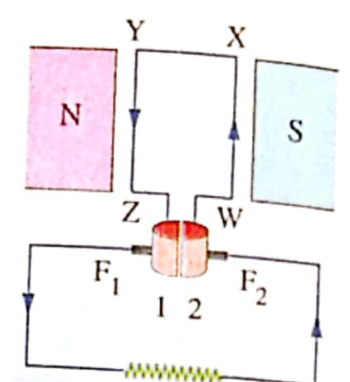
مقوم التيار

يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين فى دينامو التيار المتردد بمقوم تيار يتركب من أسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة طوليًا إلى نصفين (1 , 2) معزولين تمامًا عن بعضهما بواسطة شق عازل، ويلامس نصفى الأسطوانة (1 , 2) أثناء دورانهما فرشتان (F_1 , F_2) ويراعى أن تلامس الفرشتان الشق العازل فى اللحظة التى يكون فيها مستوى الملف عمودى على خطوط الفيض أى عندما تكون $(emf = 0)$.

شرح العمل :

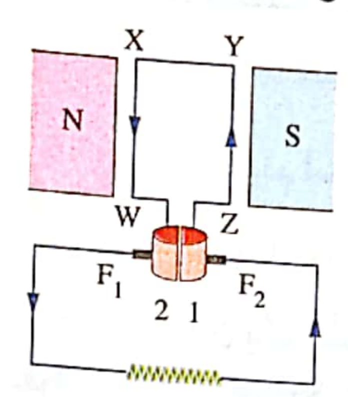
إذا بدأ الملف فى الدوران فى عكس اتجاه عقارب الساعة فإنه :

(١) خلال النصف الأول من الدورة



تكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الأسطوانة (1) ، والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الأسطوانة (2).

(٢) خلال النصف الثانى من الدورة



تكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الأسطوانة (2) ، والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الأسطوانة (1).

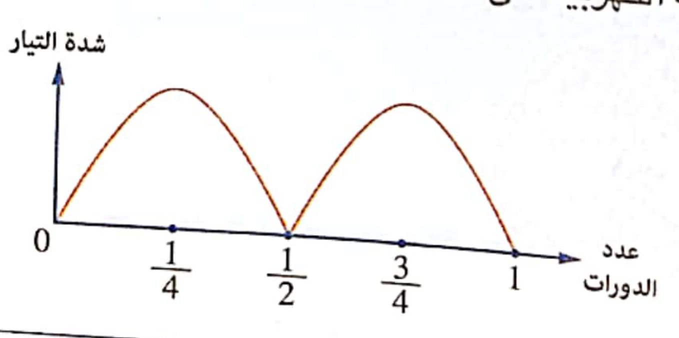
وبالتالى فإن التيار المتولد فى الملف

يمر فى الاتجاه (WXYZ)	يعكس اتجاهه ليمر فى الاتجاه (ZYXW)

فيمر التيار فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2

أى فى نفس الاتجاه فى الحالتين

(٣) مع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة الجهد والفرشاة F_2 سالبة الجهد، لذلك يكون التيار الكهربى والقوة الدافعة الكهربية فى الدائرة الخارجية موحدا الاتجاه ولكن مقدارهما يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف (كما بالشكل).

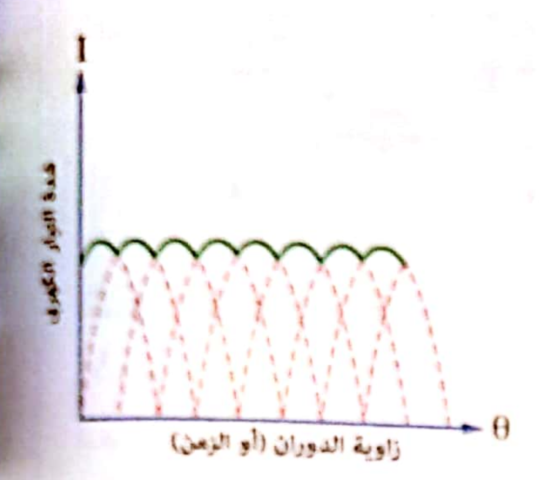


٢ دينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبًا

الاستخدام :

الحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه وثابت الشدة تقريبًا لاستخدامه فى الطلاء بالكهرباء وشحن المراكم وشاحن التليفون المحمول.

التركيب :



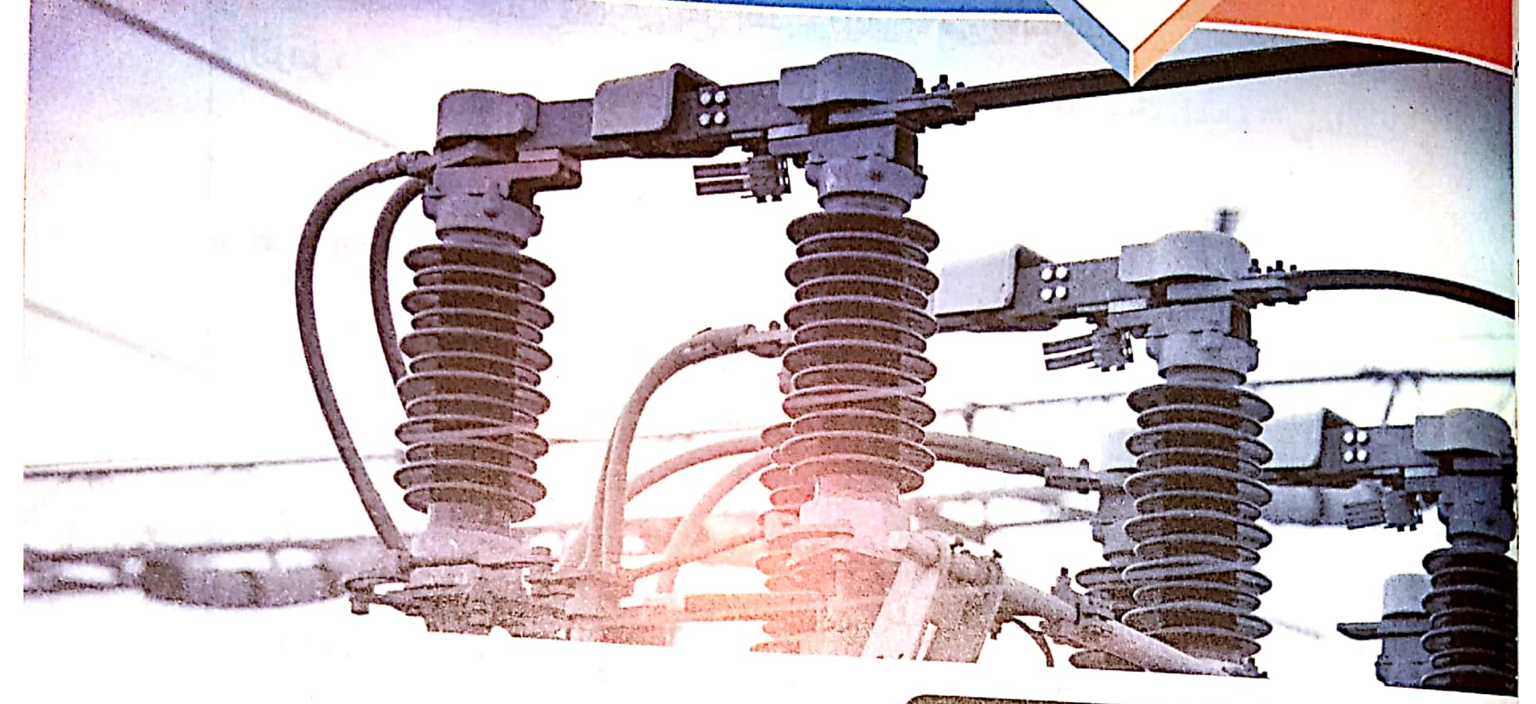
فى دينامو التيار المتردد يتم استبدال :

1. الملف بعدة ملفات بينها زوايا صغيرة متساوية.
2. الحلقتين المعدنيتين بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات.

حتى تلامس الفرشتان دائمًا جزئى الأسطوانة المتصلين بالملف الموازى لخطوط الفيض المغناطيسى فيصبح التيار دائمًا نهاية عظمى ويكون ثابت الشدة تقريبًا وبالتالى يمكن الحصول على تيار مقوم.



• المحول الكهربى
• المحرك الكهربى



المحول الكهربى Transformer

الاستخدام :

١ رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد.

٢ تقليل الفقد فى الطاقة الكهربية أثناء نقلها عبر أسلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة.

٣ يستخدم فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.

الأساس العلمى (فكرة العمل) : الحث المتبادل بين ملفين.

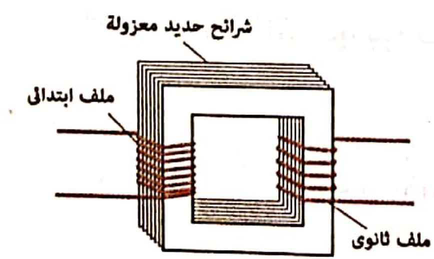
الأنواع :

١ محولات رافعة للجهد تستخدم عند محطات التوليد.

٢ محولات خافضة للجهد تستخدم عند محطات التوزيع.

التركيب :

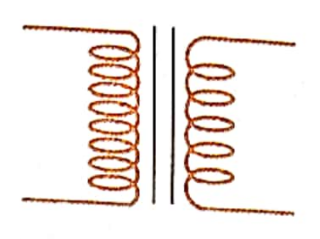
١ قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها، **لأن** معامل النفاذية المغناطيسية للحديد كبير فيعمل على تركيز الفيض المغناطيسى ونظرًا لأن المقاومة النوعية للحديد المطاوع السيليكونى كبيرة والقلب على شكل شرائح معزولة عن بعضها فتزداد مقاومته مما يحد من التيارات الدوامية ويقلل من الطاقة الكهربية المفقودة.



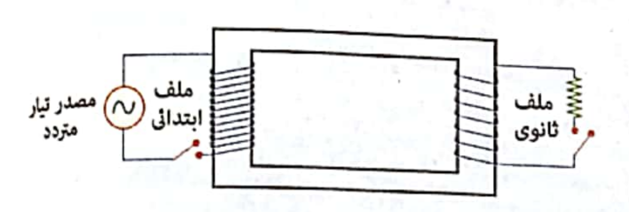


٢ يلف حول القلب الحديدى ملفان (ابتدائى وثانوى) مصنوعان من أسلاك نحاسية، **لصغر** المقاومة النوعية للنحاس فتكون مقاومة الملفات صغيرة وتقل الطاقة المفقودة فيها على شكل حرارة وبالتالى تقل القدرة المفقودة فى الأسلاك.

الرمز :



شرح العمل :



- يوصل الملف الابتدائى بمصدر التيار المتردد المراد رفع أو خفض جهده، ويوصل الملف الثانوى بالدائرة الكهربية المراد إمدادها بقيمة معينة للجهد.
- عند غلق دائرة كل من الملف الابتدائى والملف الثانوى يمر تيار متردد فى الملف الابتدائى فيتولد حوله وبداخله فيض مغناطيسى متردد يعمل القلب الحديدى على تركيزه ليقطع لفات الملف الثانوى.
- نتيجة التغير فى الفيض المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى تتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى لها نفس تردد تيار الملف الابتدائى.
- تكون قيمة emf المستحثة أكبر أو أقل من emf للمصدر حسب النسبة بين عدد لفات الملفين الثانوى والابتدائى.

استنتاج العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين فى ملفى المحول المثالى

* **بفرض وجود محول مثالى لا يحدث فيه فقد فى الطاقة، فإذا كان جهد الملف الابتدائى V_p وعدد لفاته N_p والقوة الدافعة المستحثة المتولدة فى الملف الثانوى V_s وعدد لفاته N_s، فإنه :**

- عند غلق دائرة الملف الابتدائى مع الإبقاء على دائرة الملف الثانوى مفتوحة تتولد بالحث الذاتى فى الملف الابتدائى emf مستحثة عكسية تساوى تقريبًا emf للمصدر، وبالتالى لا تستهلك طاقة كهربية تذكر فى دائرة الملف الابتدائى :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad (1)$$

حيث : $\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)$ معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الابتدائى.



- عند غلق دائرة الملف الثانوى مع الإبقاء على دائرة الملف الابتدائى مغلقة يتولد بين طرفى الملف الثانوى قوة دافعة كهربية مستحثة (V_s)،

وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، فإن معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الابتدائى = معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الثانوى.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) :

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

فإذا كان

- $N_p < N_s$ تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى **أكبر** من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول رافع للجهد.

- $N_p > N_s$ تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى **أصغر** من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول خافض للجهد.

استنتاج العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول المثالى

* **بفرض عدم وجود فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول، فإنه تبعًا لقانون بقاء الطاقة :**

الطاقة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى فى زمن معين = الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى فى نفس الزمن

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

أى أن : قدرة الدخل «للملف الابتدائى» = قدرة الخرج «للملف الثانوى»

$$\therefore V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$\because \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

أى أن : النسبة بين شدتى التيار فى الملفين تتناسب عكسيًا مع نسبة عدد اللفات وكذلك مع نسبة القوتين الدافعتين الكهربيتين المتولدتين فى الملفين.

* مما سبق يمكن المقارنة بين المحولين الرافع والخافض كالتالى:

	المحول الرافع	المحول الخافض
الشكل	ملف ابتدائى، ملف ثانوى، شرائح حديد معزولة، V_s، V_p، N_s، N_p	ملف ابتدائى، ملف ثانوى، شرائح حديد معزولة، V_s، V_p، N_s، N_p
الاستخدام	رفع الجهد الكهربى عند محطات التوليد	خفض الجهد الكهربى عند مناطق التوزيع
عدد اللفات	$N_s > N_p$	$N_p > N_s$
القوة الدافعة الكهربية	$V_s > V_p$	$V_p > V_s$
شدة التيار	$I_p > I_s$	$I_s > I_p$

ملاحظات

* **يعتبر المحول الخافض للجهد رافعًا للتيار بينما المحول الرافع للجهد خافضًا للتيار،**

لأن القدرة ثابتة، وبالتالى فإن فرق الجهد يتناسب عكسيًا مع شدة التيار تبعًا للعلاقة : $I = \frac{P_w}{V}$

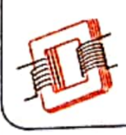
* **تعمل emf المستحثة المتولدة بالحث الذاتى فى الملف الابتدائى على تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائى.**

* **عند غلق دائرتى الملفين الابتدائى والثانوى لمحول كهربى يمر تيار كهربى فى دائرة الملف الابتدائى وتستنفذ طاقة كهربية فيه،**

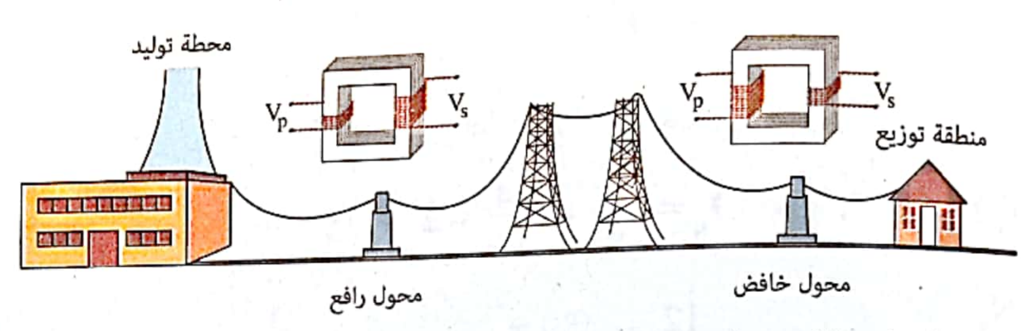
لتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى بالحث المتبادل ينشأ عنها مرور تيار مستحث يولد فيض مغناطيسى يقاوم التغير فى الفيض المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى، وبالتالى تقل emf المستحثة العكسية فى الملف الابتدائى مما يسمح بمرور التيار فيه وبالتالى تستنفذ طاقة كهربية فيه.

* **لا يصلح المحول الكهربى لرفع أو خفض قوة دافعة كهربية مستمرة،**

لأن أساس عمل المحول الكهربى هو الحث المتبادل، والفيض المغناطيسى الناشئ عن التيار المستمر ثابت فلا تتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى إلا لحظة غلق وفتح الدائرة.



القدرة عند محطة التوليد وعند مناطق التوزيع



* عند محطة التوليد الكهربية :

- يستخدم المحول الرافع للجهد (خافض للتيار) حتى يتم رفع الجهد إلى قيمة عالية عند المحطة، وبالتالى تقل قيمة شدة التيار المارة فى أسلاك التوصيل إلى قيمة منخفضة جدًا مما يقلل من الفقد فى القدرة المستنفذة عبر الأسلاك، ويكون :

القدرة المفقودة فى الأسلاك = I^2R ، الهبوط فى الجهد = IR

حيث : (R) مقاومة الأسلاك.

أى أن : القدرة المستنفذة فى أسلاك التوصيل تتناسب طرديًا مع مربع شدة التيار.

- يساعد انخفاض شدة التيار الخارج من المحطة على نقله عبر أسلاك رفيعة بدلاً من كابلات سميكة وفى ذلك توفير فى تكاليف النقل.

* عند مناطق التوزيع :

يستخدم محول خافض للجهد (رافع للتيار) ليصبح فرق الجهد على الملف الثانوى مناسب لتشغيل الأجهزة الكهربية المستخدمة فى المنازل وتكون :

القدرة عند المستهلك (مناطق التوزيع) = القدرة عند محطة التوليد − القدرة المفقودة فى الأسلاك

$$\text{كفاءة النقل} = \frac{\text{القدرة عند منطقة التوزيع}}{\text{قدرة محطة التوليد}} \times 100$$

مثال (١)

محول كهربى خافض مثالى يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل بفرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته الدافعة الكهربية 240 V فإذا كان عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة، **احسب :**

(أ) شدة التيار المار فى الملف الثانوى.

(ب) عدد لفات الملف الابتدائى.

الحـــل

$P_w = 24\ W$ | $V_s = 12\ V$ | $V_p = 240\ V$ | $N_s = 480$

$I_s = ?$ | $N_p = ?$

(أ) $P_w = V_s I_s$, $I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{24}{12} = 2\ A$

(ب) $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$, $\frac{12}{240} = \frac{480}{N_p}$

$N_p = \frac{480 \times 240}{12} = 9600$ لفة

مثال ٢

نقلت قدرة كهربية مقدارها $4 \times 10^5\ W$ من محطة توليد إلى مصنع خلال خط نقل مقاومته $0.5\ \Omega$ فإذا كان الجهد عند محطة التوليد $2 \times 10^3\ V$، احسب :

(أ) شدة التيار فى الخط.

(ب) الهبوط فى الجهد.

(جـ) القدرة المفقودة فى الخط.

الحـــل

$P_w = 4 \times 10^5\ W$ | $R = 0.5\ \Omega$ | $V = 2 \times 10^3\ V$ | $I = ?$

الهبوط فى الجهد = ؟ | القدرة المفقودة فى الخط = ؟

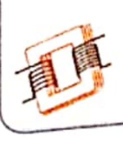
(أ) $I = \frac{P_w}{V} = \frac{4 \times 10^5}{2 \times 10^3} = 2 \times 10^2\ A$

(ب) الهبوط فى الجهد $= IR = 2 \times 10^2 \times 0.5 = 100\ V$

(جـ) القدرة المفقودة فى الخط $= I^2R = (2 \times 10^2)^2 \times 0.5 = 2 \times 10^4\ W$

كفاءة المحول الكهربى

* إذا لم يكن هناك فقد فى القدرة الكهربية فى المحول أى أن القدرة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى تساوى القدرة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى تكون كفاءة المحول 100% كما فى حالة المحول المثالى ومثل هذا المحول غير موجود فى الحياة العملية.



كفاءة المحول الكهربى (η)

النسبة بين قدرة الملف الثانوى إلى قدرة الملف الابتدائى.

أو

النسبة بين الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى فى نفس الزمن.

* تتعين كفاءة المحول من العلاقة :

$$\eta = \frac{(P_w)_s}{(P_w)_p} \times 100 = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

* أسباب فقد الطاقة الكهربية فى المحول الكهربى وكيفية التقليل منها :

أسباب فقد الطاقة فى المحول الكهربى	كيفية التقليل منها
① يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى الأسلاك إلى طاقة حرارية.	* صنع الملفات من أسلاك من النحاس مقاومتها أقل ما يمكن.
② يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية.	* صنع القلب الحديدى من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها من الحديد المطاوع السيليكونى لكبر مقاومته النوعية.
③ يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ فى تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدى.	* صنع القلب الحديدى من الحديد المطاوع السيليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.
④ تسرب بعض خطوط الفيض فلا تقطع الملف الثانوى.	* يلف الملف الثانوى حول الابتدائى مع عزله عنه كما يصل بينهما قلب من الحديد المطاوع السيليكونى.

العوامل التى تتوقف عليها كفاءة المحول الكهربى

1. مقاومة أسلاك الملفين.
2. الشكل الهندسى للملفين.
3. نوع مادة القلب المعدنى.
4. تصميم القلب المعدنى.

مثال

محـــول خافـــض للجهـــد يخفـض الجهـــد الكهـربـى مـــن 2400 V إلـى 120 V وعدد لفات ملفه الابتدائى 4000 لفة، إذا علمت أن القدرة الناتجة من المحول 13500 W وكفاءة المحول 90 %، **أوجد :**

(أ) عدد لفات الملف الثانوى.

(ب) شدة التيار فى الملفين.

الحـــل

$V_p = 2400\ V$	$V_s = 120\ V$	$N_p = 4000$	$P_w = 13500\ W$
$\eta = 90\ \%$	$N_s = ?$	$I_s = ?$	$I_p = ?$

(أ)

$$\eta = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

$$90 = \frac{120 \times 4000}{2400 \times N_s} \times 100 \quad , \quad N_s = 222.22 \text{ لفة}$$

(ب)

$$P_w = V_s I_s \quad , \quad I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{13500}{120} = 112.5\ A$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad , \quad I_p = \frac{N_s I_s}{N_p} = \frac{222.22 \times 112.5}{4000} = 6.25\ A$$

إرشاد

* فى حالة محول مثالى له ملفان ثانويان فإن :

– عند تشغيل كل جهاز على حدة :

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1}$$

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2}$$

– عند تشغيل الجهازين معًا فى نفس الوقت :

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}$$

$$V_p I_p = (V_s)_1 (I_s)_1 + (V_s)_2 (I_s)_2$$

مثال

محول كهربى عدد لفات ملفه الابتدائى 200 لفة ويعمل على تيار متردد قوته الدافعة الكهربية الفعالة 200 V فإذا كان للمحول ملفان ثانويان لتشغيل جهازين الأول راديو (0.5 A , 12 V) والثانى كشاف (1.2 A , 80 V)، احسب :

(أ) عدد لفات الملفين الثانويين.

(ب) شدة التيار المار فى الملف الابتدائى عند تشغيل الجهازين معًا فى نفس الوقت.

الحل

$N_p = 200$	$V_p = 200\ V$	$(I_s)_1 = 0.5\ A$	$(V_s)_1 = 12\ V$	$(I_s)_2 = 1.2\ A$
$(V_s)_2 = 80\ V$	$(N_s)_1 = ?$	$(N_s)_2 = ?$	$I_p = ?$	

(أ)

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1} \quad , \quad \frac{200}{12} = \frac{200}{(N_s)_1}$$

$(N_s)_1 = 12$ لفة

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2} \quad , \quad \frac{200}{80} = \frac{200}{(N_s)_2}$$

$(N_s)_2 = 80$ لفة

(ب)

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}$$

$$V_p I_p = (V_s)_1 (I_s)_1 + (V_s)_2 (I_s)_2$$

$$200\ I_p = (12 \times 0.5) + (80 \times 1.2)$$

$$I_p = 0.51\ A$$

إرشاد

• إذا كان المحول غير مثالى $\left((P_w)_p > (P_w)_s\right)$ فإنه فى حالة وجود :

- ملف ثانوى واحد :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

- ملفين ثانويين :

$$\eta\ (P_w)_p = \left((P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}\right) \times 100$$

مثال

محـول خافـض للجهد كفـاءته 80 % وجهد ملفـه الابتدائى 150 V وجهد مـلفه الثانوى 8 V ، فـإذا كانت شـدة التيـار فى الملـف الابتدائى 0.25 A وعـدد لفات الملف الثانـوى 70 لفة، **فما** شدة التيار فى الملف الثانوى وعدد لفات الملف الابتدائى ؟

الحـل

$\eta = 80\ \%$ | $V_p = 150\ V$ | $V_s = 8\ V$ | $I_p = 0.25\ A$

$N_s = 70$ | $I_s = ?$ | $N_p = ?$

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100$$

$$I_s = \frac{\eta V_p I_p}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 0.25}{8 \times 100} = 3.75\ A$$

$$\eta = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

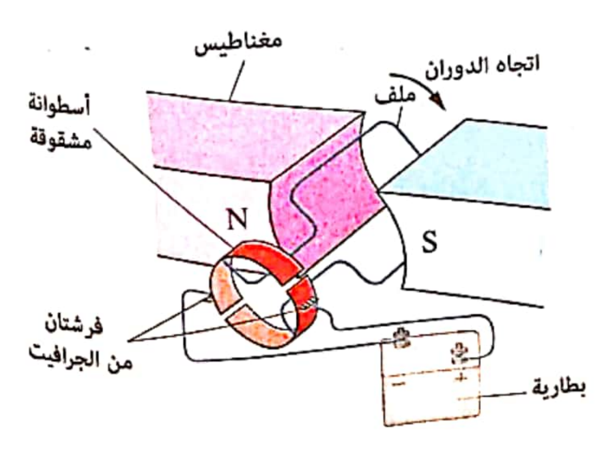
$$N_p = \frac{\eta V_p N_s}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 70}{8 \times 100} = 1050 \text{ لفة}$$

محرك التيار الكهربى المستمر (الموتور) DC Motor

الاستخدام : تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (حركية).

التركيب :

1. قلب من الحديد المطاوع، مكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها، **للحد** من التيارات الدوامية.
2. ملـف مسـتطيل، يتكون من عـدد كبير مـن لفات سـلك نحاس معـزول ملفوف حول القلب الحديـدى بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال.
3. مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيـه مقعريـن، يـدور الملـف والقلـب الحديدى بين قطبيه.





٤ أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفى الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف.

٥ فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفى الأسطوانة المعدنية.

٦ بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين عند تشغيل المحرك الكهربى.

الأساس العلمى (فكرة العمل) :

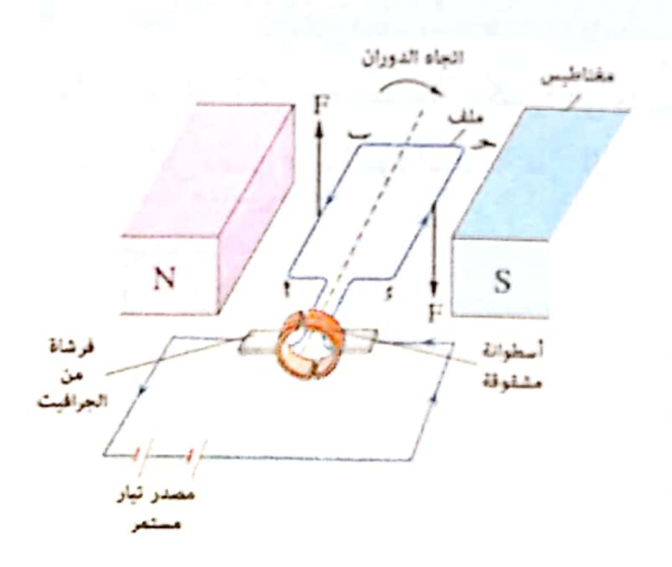
- الفكرة : عزم الازدواج الناتج عن مرور تيار كهربى فى ملف قابل للدوران فى مجال مغناطيسى.
- الشرح : عند مرور تيار كهربى فى الملف تتولد على الضلعين الطوليين له قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه فينشأ عنهما ازدواج كل نصف دورة يدير الملف حول محوره ويغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة، ويترتب على ذلك أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى ينعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة ليصبح الازدواج فى كل لحظة فى اتجاه دورى واحد.

ملحوظة

- فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك، الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربى يجب أن يدور باستمرار فى نفس الاتجاه فتصميم المحرك الكهربى يقتضى أن يغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة ويترتب على هذا أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة.

شرح عمل الموتور خلال دورة كاملة

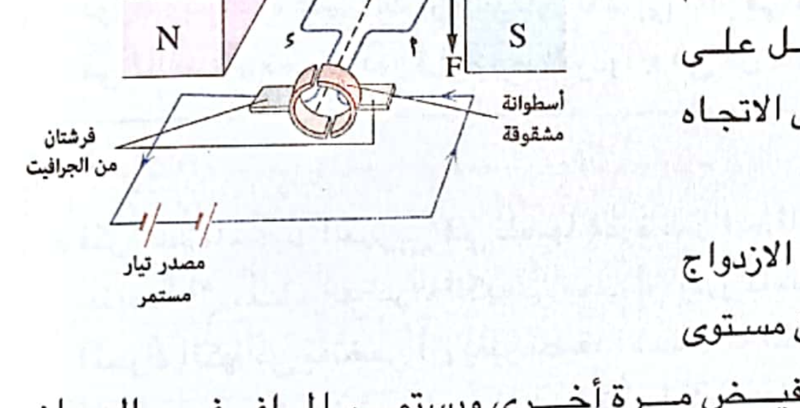
- فى النصف الأول من الدورة :
  - عندما يكون مستوى الملف موازيًا للفيض تلامس فرشتا الجرافيت نصفى الأسطوانة فيمر تيار فى الملف وتتولد قوتان مغناطيسيتان عموديتان على ضلعى الملف (أ ب ، حـ ء) فى اتجاهين متضادين ينتج عنهما عزم ازدواج يسبب دوران الملف (كما بالشكل).

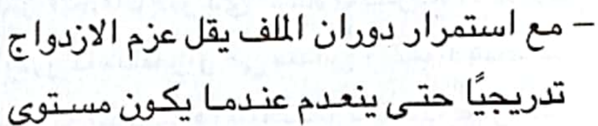


– مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجيًا حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عموديًا على الفيض فتلامس الفرشتان المادة العازلة وينقطع التيار إلا أن الملف يستمر فى الدوران، **بسبب** القصور الذاتى ليعبر الوضع العمودى ثم يزداد عزم الازدواج تدريجيًا مرة أخرى حتى يصل لقيمته العظمى عندما يصل الملف للوضع الموازى.

*** فى النصف الثانى من الدورة :**

– يصبح مستوى الملف موازيًا للفيض مرة أخرى ويكون نصفا الأسطوانة قد تبادلا موضعيهما مع الفرشتين وانعكس اتجاه التيار المار فى الملف ويكون عزم الازدواج قيمة عظمى يعمل على استمرار دوران الملف فى نفس الاتجاه الدائرى السابق.

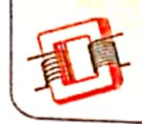




– مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجيًا حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عموديًا على خطوط الفيض مرة أخرى ويستمر الملف فى الدوران، **بسبب** القصور الذاتى حتى يكمل دورته ويصبح موازيًا للفيض، ويتكرر ذلك كل دورة كاملة للملف.

القوة الدافعة الكهربية العكسية فى الموتور

تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية فى ملف الموتور أثناء دورانه بسبب قطعه لخطوط الفيض المغناطيسى تعمل هذه القوة الدافعة على الحد من التيار الأصلى مما يسبب انتظام سرعة دوران الملف.



كيفية زيادة كفاءة دوران المحرك الكهربى

(١) استخدام مجموعة من الملفات بينها زوايا صغيرة متساوية،

للاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى حيث يتواجد دائمًا ملف موازيًا للفيض المغناطيسى فيتأثر بأكبر عزم ازدواج وهكذا تدور الملفات بسرعة أكبر.

(٢) تقسيم الأسطوانة المعدنية إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات.

العوامل التى تتوقف عليها قدرة الموتور الكهربى

(١) عدد ملفات الموتور.

(٢) عدد لفات كل ملف.

(٣) كثافة الفيض المغناطيسى.

(٤) شدة التيار المار فى ملف الموتور.

(٥) مساحة وجه ملف الموتور.

* مما سبق يمكن المقارنة بين كل من مولد التيار الكهربى المتردد والمحول الكهربى والمحرك الكهربى كالتالى :

	التركيب	الاستخدام
مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو)	* مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى). * ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال. * حلقتا انزلاق معدنيتان تتصلان بنهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف. * فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين.	تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية
المحول الكهربى	* قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها. * ملفان (ابتدائى وثانوى) مصنوعان من أسلاك نحاسية وملفوفان حول قلب الحديد.	* رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد. * تقليل الفقد فى الطاقة الكهربية أثناء نقلها عبر أسلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة. * فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.

المحرك الكهربى (الموتور)	* قلب من الحديد المطاوع مكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها. * ملف مستطيل يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوف حول القلب الحديدى بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال. * مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين، يدور الملف والقلب الحديدى بين قطبيه. * أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفى الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف. * فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفى الأسطوانة المعدنية. * بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين.	تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (حركية)

معلومــة إثرائية

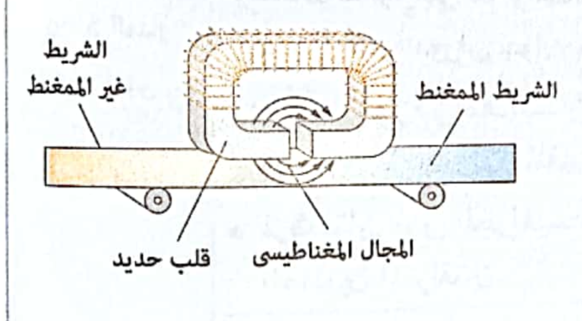
التسجيل

* يستخدم الحث الكهرومغناطيسى فى :

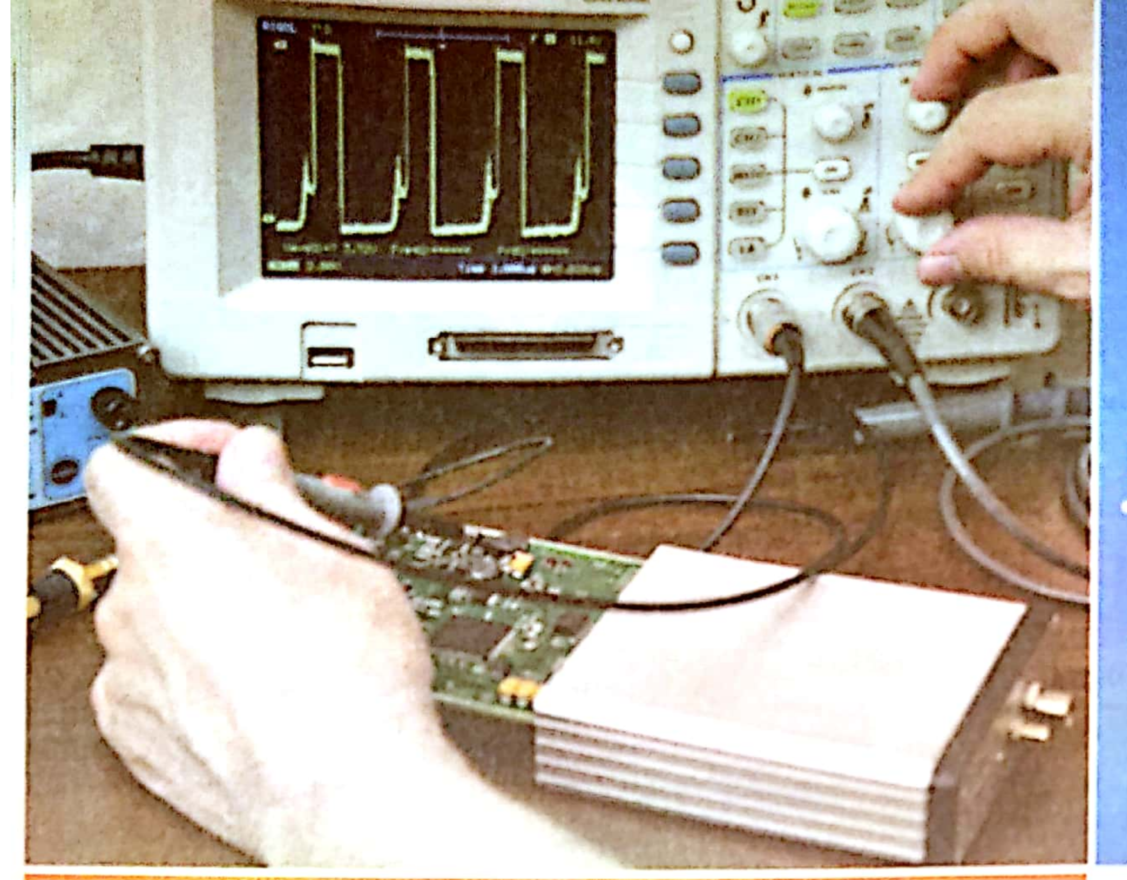
(١) جهاز التسجيل **Recorder**

(٢) القرص الصلب **Hard Disk**

حيث تتحول الإشارة الكهربية إلى مجال مغناطيسى يمغنط الشريط المغناطيسى فى رأس التسجيل، وعند التشغيل يقوم رأس التسجيل بقراءة ما تم تسجيله وتحويله إلى إشارة كهربية.







الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل 4

دوائر التيار المتردد

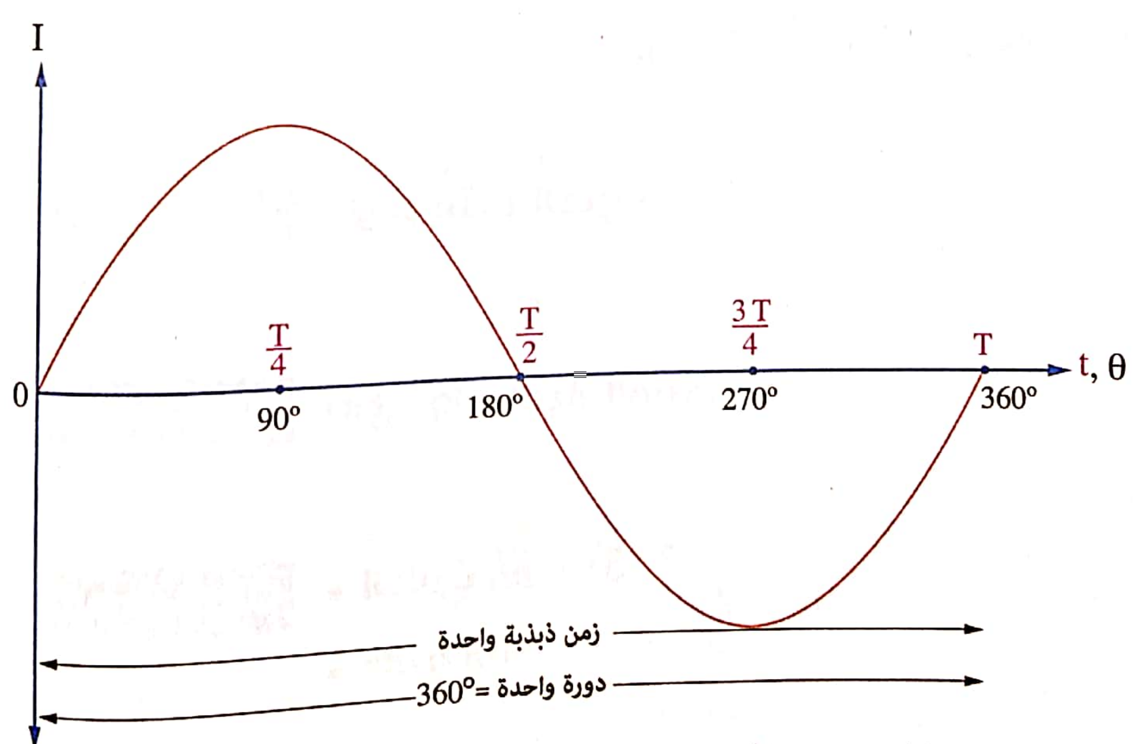
الدرس الأول دوائر التيار المتردد.

الدرس الثانى تابع دوائر التيار المتردد.

الدرس الثالث
- الدائرة المهتزة.
- دائرة الرنين.

دوائر التيار المتردد

* درسنا فى الفصل السابق كيفية استخدام الدينامو للحصول على تيار متردد يتغير كل من شدته واتجاهه دوريًا مع مرور الزمن، ويمكن تمثيله بيانيًا بمنحنى جيبى كالموضح بالشكل :



أى أن : قيمة واتجاه كل من شدة التيار المتردد والقوة الدافعة الكهربية تتغير تبعًا للعلاقتين :

$$I = I_{max} \sin \theta \quad , \quad V = V_{max} \sin \theta$$



خصائص التيار المتردد

1. يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية للتيار المتردد حسب الحاجة وذلك باستخدام المحولات الكهربية.
2. يمكن نقل الطاقة الكهربية لمسافات بعيدة من مصادر التوليد إلى أماكن الاستهلاك عبر الأسلاك دون فقد يذكر فى الطاقة الكهربية وذلك بعد رفع جهدها باستخدام المحولات.
3. يمكن تحويله لتيار مستمر.
4. يصلح لبعض الأغراض مثل الإضاءة والتسخين ولكنه لا يصلح لأغراض أخرى كالتحليل الكهربى والطلاء بالكهرباء حيث يستخدم التيار المستمر.
5. له أثر حرارى عند مروره فى مقاومة أومية ولا يتوقف هذا الأثر على اتجاه التيار.

الأميتر الحرارى Hot Wire Ammeter

تعتمد فكرة عمل الأميتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر على ملفه والناشئ عن المجال المغناطيسى المنتظم (ثابت الشدة والاتجاه) الناتج عن مرور التيار الكهربى فى الملف وحيث إن المجال الناشئ عن مرور التيار المتردد يكون متغير الشدة والاتجاه فيتغير اتجاه عزم الازدواج كل نصف دورة ويمنع القصور الذاتى للملف الاستجابة لهذا التغير، وبالتالى لا يصلح هذا الجهاز فى قياس شدة التيار المتردد،

لذلك يعتمد قياس شدة التيار المتردد على التأثير الحرارى له وهى خاصية لا تعتمد على اتجاه التيار، ولذلك يستخدم الأميتر الحرارى فى قياس شدة التيار المتردد.

الاستخدام :

قياس القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد وقياس شدة التيار المستمر.

الأساس العلمى (فكرة العمل) :

- **الفكرة :** التأثير الحرارى للتيار الكهربى.
- **الشرح :** يولد التيار الكهربى (المتردد أو المستمر) عند مروره فى مقاومة أومية لفترة زمنية معينة كمية من الحرارة يتوقف مقدارها على القيمة الفعالة للتيار المار.

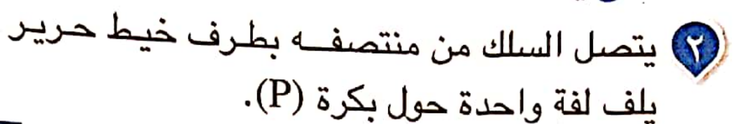
التوصيل فى الدائرة الكهربية :

يوصل الأميتر الحرارى على التوالى فى الدائرة الكهربية،

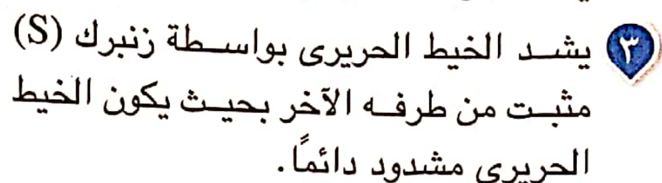
حتى يمر به التيار المراد قياس شدته.

التركيب :

١ مسمارين A ، B يشد بينهما سلك رفيع ويصنع هذا السلك من سبيكة الأيريديوم والبلاتين حتى يسخن السلك ويتمدد بمقدار محسوس عند مرور تيار كهربى فيه.

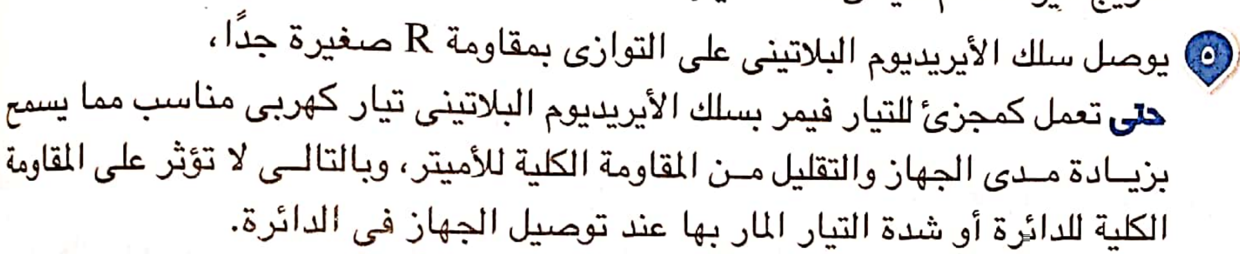


٢ يتصل السلك من منتصفه بطرف خيط حرير يلف لفة واحدة حول بكرة (P).



٣ يشد الخيط الحريرى بواسطة زنبرك (S) مثبت من طرفه الآخر بحيث يكون الخيط الحريرى مشدود دائمًا.

٤ يثبت على البكرة مؤشر يتحرك طرفه على تدريج غير منتظم لقياس شدة التيار.



٥ يوصل سلك الأيريديوم البلاتينى على التوازى بمقاومة R صغيرة جدًا، حتى تعمل كمجزئ للتيار فيمر بسلك الأيريديوم البلاتينى تيار كهربى مناسب مما يسمح بزيادة مدى الجهاز والتقليل من المقاومة الكلية للأميتر، وبالتالى لا تؤثر على المقاومة الكلية للدائرة أو شدة التيار المار بها عند توصيل الجهاز فى الدائرة.

شرح العمل :

١ عند مرور التيار الكهربى المراد قياس شدته فى سلك الأيريديوم البلاتينى تتولد فيه كمية من الحرارة فيسخن السلك ويتمدد ويرتخى.

٢ يقوم خيط الحرير بشد السلك فتدور البكرة ويتحرك المؤشر على التدريج.

٣ تؤخذ قراءة التدريج عند ثبات المؤشر وذلك عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة فى السلك فى زمن معين مع كمية الحرارة المفقودة منه فى نفس الزمن فتثبت درجة حرارته ويقف تمدده فيثبت المؤشر على قراءة تعبر عن القيمة الفعالة للتيار المتردد.

٤ عند قطع التيار عن الدائرة يبرد السلك تدريجيًا وينكمش فيجذب خيط الحرير ليعود المؤشر ببطء لصفر التدريج.

العيوب :

١ عند مرور تيار كهربى فى الجهاز يتحرك مؤشره ببطء حتى يثبت وعند قطع التيار عنه يعود إلى الصفر ببطء.

٢ يتأثر سلك الأيريديوم البلاتينى بحرارة الجو ارتفاعًا وانخفاضًا وذلك يسبب خطأ فى دلالة الأميتر يسمى الخطأ الصفرى، **وللتغلب على هذا العيب** يشد السلك على لوحة من مادة لها نفس معامل تمدد السلك مع عزله عنها.

طريقة المعايرة :

يمكن معايرة الأميتر الحرارى عن طريق توصيله بمصدر تيار مستمر وريوستات وأميتر ذو ملف متحرك كما بالشكل المقابل، بحيث :

1. عندما يمر تيار معين فى الدائرة فإن مؤشر كل من الأميتر الحرارى والأميتر ذو الملف المتحرك يشير إلى قيمة هذا التيار، تؤخذ قراءة مؤشر الأميتر ذو الملف المتحرك وتُسجل على الموضع الذى يشير إليه مؤشر الأميتر الحرارى.
2. تكرر العملية السابقة لقيم مختلفة لشدة التيار وذلك من خلال تغيير المقاومة المأخوذة من الريوستات حتى يكتمل تدريج الأميتر الحرارى.

ملحوظة

* **تدريج الأميتر الحرارى غير منتظم وأقسامه ليست متساوية بل يزداد اتساعها كلما زادت شدة التيار،**

لأن كمية الحرارة المتولدة فى السلك خلال زمن معين تتناسب طرديًا مع مربع شدة التيار المار به (I^2).

* **مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر الحرارى و الأميتر ذو الملف المتحرك كالتالى :**

	الأميتر الحرارى	الأميتر ذو الملف المتحرك
فكرة العمل (سبب حركة المؤشر على التدريج)	التأثير الحرارى للتيار الكهربى (تمدد سلك الأيريديوم البلاتينى نتيجة مرور التيار فيه)	التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى (عزم الازدواج المؤثر على ملف موضوع فى مجال مغناطيسى عند مرور تيار كهربى فيه)
الاستخدام	قياس شدة التيار المستمر والقيمة الفعالة للتيار المتردد	قياس شدة التيار المستمر فقط
التدريج	غير منتظم	منتظم
التأثر بدرجة حرارة الجو	تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط	لا تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط

حركة المؤشر	يتحرك ببطء عند إمرار التيار أو عند انقطاعه	يتحرك بسرعة عند إمرار التيار أو عند انقطاعه
شرط اتزان المؤشر	كمية الحرارة المتولدة فى السلك فى زمن معين = كمية الحرارة المفقودة منه فى نفس الزمن	عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف الجلفانومتر = عزم اللىِّ المتولد على الملفين الزنبركيين

دوائر التيار المتردد (AC Circuits)

* فيما يلى سندرس بعض دوائر التيار المتردد والتى تتكون من مصدر تيار متردد يتصل به :

١ مقاومة أومية عديمة الحث (R).

٢ ملف حث عديم المقاومة (L).

٣ مكثف (C).

٤ مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالى (RL).

٥ مقاومة أومية ومكثف متصلين على التوالى (RC).

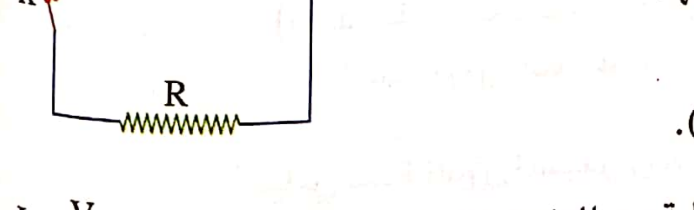
٦ مقاومة أومية وملف حث ومكثف متصلة معًا على التوالى (RLC).

أولًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية عديمة الحث

* عند توصيل مقاومة أومية عديمة الحث ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالى كما بالشكل فإنه :

– عند غلق الدائرة يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R) :

$$V = V_{max} \sin \theta = V_{max} \sin \omega t \quad (1)$$



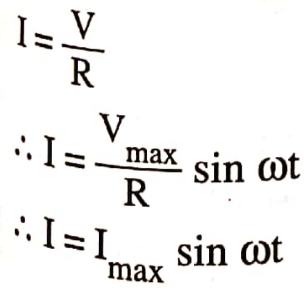
حيث : (V) القيمة اللحظية لفرق الجهد،

(V_{max}) القيمة العظمى لفرق الجهد،

(θ) زاوية الطور (θ = ωt)،

(ω) السرعة الزاوية (ω = 2 πf).

– طبقًا لقانون أوم تتعين شدة التيار اللحظية من العلاقة :



$$I = \frac{V}{R}$$

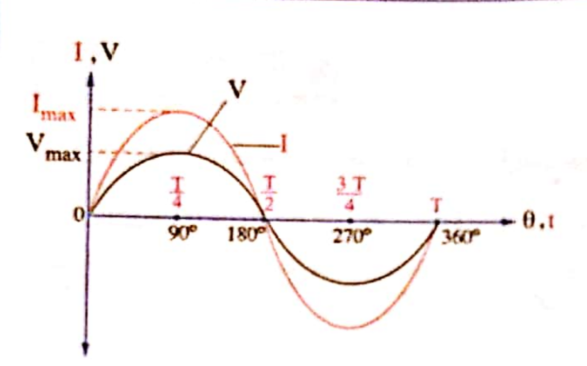
$$\therefore I = \frac{V_{max}}{R} \sin \omega t$$

$$\therefore I = I_{max} \sin \omega t \quad (2)$$

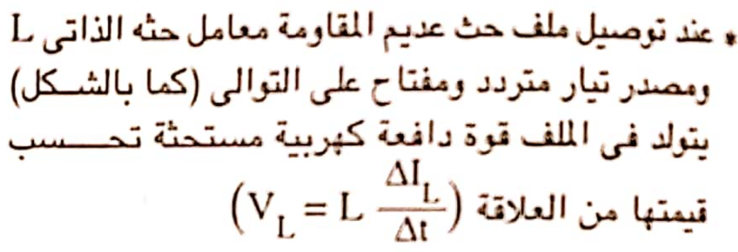




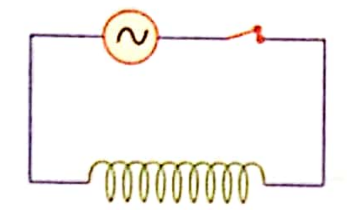
بمقارنة المعادلتين (1) ، (2) نجد أن :
فرق الجهد وشدة التيار في مقاومة أومية عديمة الحث تزداد قيمتهما معًا حتى يصلا إلى القيمة العظمى ثم يهبطان للصفر معًا.
أى أن: فرق الجهد وشدة التيار متفقان في الطور كما هو موضح بالرسم البياني المقابل.



* يمكن تمثيل التيار وفرق الجهد في مقاومة عديمة الحث بمتجهين لهما نفس الاتجاه :

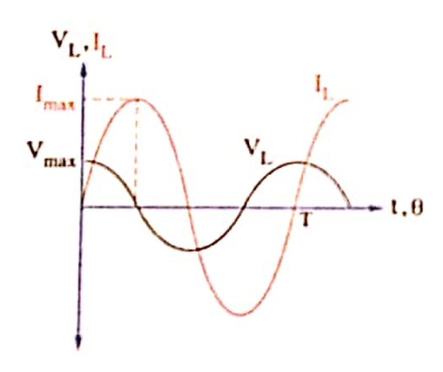


ثانيًا دائرة تيار متردد تحتوى على ملف حث عديم المقاومة

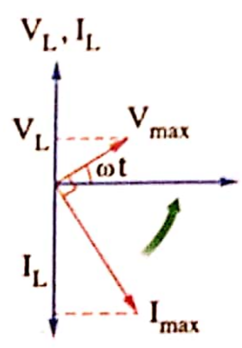


* عند توصيل ملف حث عديم المقاومة معامل حثه الذاتي L ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالي (كما بالشكل) يتولد في الملف قوة دافعة كهربية مستحثة تحسب قيمتها من العلاقة $\left(V_L = L\frac{\Delta I_L}{\Delta t}\right)$

وتبعًا للعلاقة $(I_L = I_{max} \sin \omega t)$ فإن شدة التيار تتغير مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبي (كما بالشكل)، ويمثل $\left(\frac{\Delta I_L}{\Delta t}\right)$ ميل المماس لهذا المنحنى حيث :



1. عندما تكون قيمة شدة التيار (I_L) مساوية للصفر يكون هذا الميل نهاية عظمى وبذلك تكون قيمة فرق الجهد (V_L) نهاية عظمى.
2. بزيادة شدة التيار يقل الميل تدريجيًا وتقل قيمة فرق الجهد حتى تصل شدة التيار إلى القيمة العظمى فتنعدم قيمة الميل وبذلك تكون قيمة فرق الجهد مساوية للصفر.
3. عندما تقل شدة التيار تصبح قيمة الميل مقدارًا سالبًا وتزداد تدريجيًا فتزداد قيمة فرق الجهد في الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل شدة التيار للصفر.



* مما سبق يتضح أن التيار يتأخر عن الجهد في الطور بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة أى بزاوية 90° بسبب الحث الذاتي للملف.



المفاعلة الحثية

* يلاحظ أن القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة بالحث الذاتى فى الملف عديم المقاومة تسبب نوعًا من الممانعة لمرور التيار الأصلى تسمى المفاعلة الحثية (X_L).

المفاعلة الحثية (X_L)

الممانعة التى يلقاها التيار المتردد فى الملف بسبب حثه الذاتى.

* تتعين المفاعلة الحثية من العلاقة :

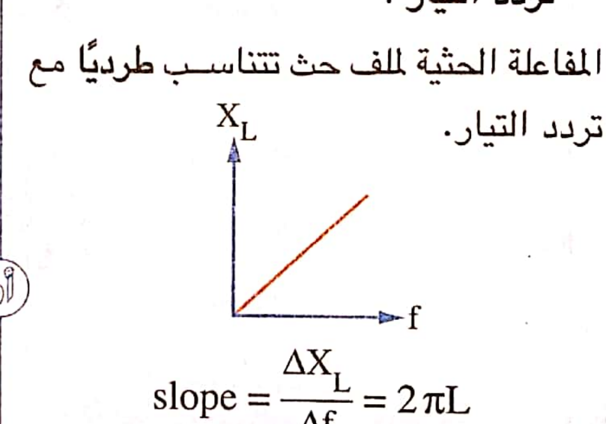
$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

* تقاس المفاعلة الحثية بوحدة **الأوم** (Ω).

العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة الحثية لملف حث

١ تردد التيار :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب **طرديًا** مع تردد التيار.

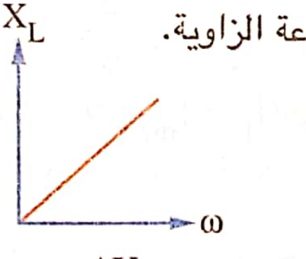


$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta f} = 2\pi L$$

أو

السرعة الزاوية :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب **طرديًا** مع السرعة الزاوية.

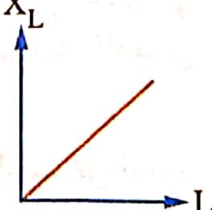


$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta \omega} = L$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

٢ معامل الحث الذاتى للملف :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب **طرديًا** مع معامل الحث الذاتى للملف.



$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta L} = \omega = 2\pi f$$

مما سبق نستنتج أن

- شدة التيار المتردد المار فى ملف حث عديم المقاومة تتعين من العلاقة : $I = \frac{V_L}{X_L}$
- قيمة المفاعلة الحثية (X_L) لا تعتمد على قيمة كل من فرق الجهد بين طرفى الملف (V_L) وشدة التيار المار به (I).
- عند الترددات العالية جدًا يكاد ينعدم مرور التيار المتردد فى ملف الحث.

لأن المفاعلة الحثية للملف (X_L) تتناسب طرديًا مع تردد المصدر تبعًا للعلاقة $(X_L = 2\pi f L)$ ولذلك عند الترددات العالية جدًا تصبح قيمة X_L كبيرة جدًا وتعتبر الدائرة مفتوحة.

- المفاعلة الحثية لملف يمر به تيار مستمر تساوى صفر.

لأن التيار المستمر ثابت الشدة وموحد الاتجاه فيكون تردده مساويًا للصفر $(f = 0)$ وتبعًا للعلاقة $(X_L = 2\pi f L)$ تصبح قيمة المفاعلة الحثية مساوية للصفر.

ملاحظات

- عند توصيل دينامو تيار متردد مقاومته الأومية مهملة بملف حث عديم المقاومة الأومية وتغيير تردد ملف الدينامو فإن قيمة شدة التيار العظمى لا تتغير لأنها لا تعتمد على تردد دوران ملف الدينامو حيث إنها تحسب من العلاقة :

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{X_L} = \frac{NBA\omega}{\omega L} = \frac{NBA}{L}$$

- تختلف المفاعلة الحثية عن المقاومة الأومية فى الآتى :
  - المفاعلة الحثية لملف مهمل المقاومة لا تسبب فقد فى الطاقة الكهربية.

  لأن الممانعة لمرور التيار تكون بواسطة القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فى الملف ويقوم الملف بتخزين الطاقة الكهربية على صورة مجال مغناطيسى ثم يعيد إعطائها للمصدر دون فقد فى الطاقة.

  - المقاومة الأومية عديمة الحث تسبب فقد فى الطاقة الكهربية فى صورة طاقة حرارية.

- تتعين قيمة معامل الحث الذاتى (L) لملف لولبى من العلاقة : $L = \frac{\mu A N^2}{l}$

مثال ١

ملف حثه الذاتى 700 mH مهمل المقاومة وصل بمصدر متردد قوته الدافعة 200 V وتردده 50 Hz، **احسب** شدة التيار المار فى الملف.

الحل

$L = 700 \times 10^{-3}$ H	V = 200 V	f = 50 Hz	**I = ?**

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 700 \times 10^{-3} = 220\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{220} = \mathbf{0.91\ A}$$

مثال ٢

ملف حث طوله 25 π cm يتكون من 5000 لفة مساحة مقطع كل منها $10\ cm^2$، متصل بدينامو تيار متردد عديم المقاومة الأومية ويدور ملفه بمعدل 50 دورة/ث، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية العظمى لملف الدينامو $150\sqrt{2}$ V، **احسب** القيمة الفعالة لشدة التيار المار فى دائرة الملف. (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$\ell = 25\pi$ cm	N = 5000	$A = 10\ cm^2$	f = 50 Hz
$V_{max} = 150\sqrt{2}$ V	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$I_{eff} = ?$	

$$L = \frac{\mu A N^2}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4} \times (5000)^2}{25\pi \times 10^{-2}} = 0.04\ H$$

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.04 = 12.57\ \Omega$$

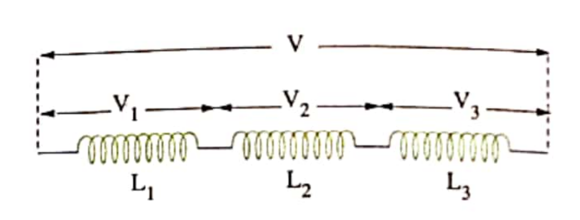
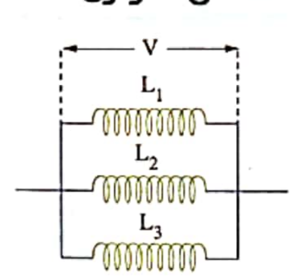
$$V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{150\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 150\ V$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{X_L} = \frac{150}{12.57} = \mathbf{11.93\ A}$$



المفاعلة الحثية لعدة ملفات متصلة معًا

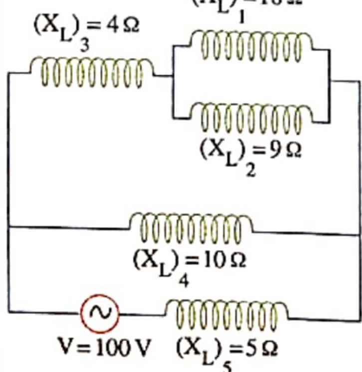
* عند توصيل عدة ملفات حث معًا (بحيث تكون متباعدة عن بعضها حتى يمكن إهمال الحث المتبادل بينها) بمصدر تيار متردد، فإذا كان التوصيل :

على التوالى	على التوازى
	
يكون	
$\grave{X}_L = (X_L)_1 + (X_L)_2 + (X_L)_3$	$\frac{1}{\grave{X}_L} = \frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}$
$\grave{L} = L_1 + L_2 + L_3$	$\frac{1}{\grave{L}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$
إذا كان معامل الحث الذاتى للملفات متساوى وعدد الملفات (n)	
$\grave{X}_L = n\,(X_L)_1$	$\grave{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n}$
$\grave{L} = nL_1$	$\grave{L} = \frac{L_1}{n}$

مثال ١

احسب شدة التيار الكلى المار فى الدائرة الموضحة.

(بفرض إهمال الحث المتبادل بين الملفات)



الحل

$(X_L)_1$ ، $(X_L)_2$ متصلين على التوازى :

$$\therefore (\grave{X}_L)_1 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6\,\Omega$$

$(\grave{X_L})_1$ ، $(X_L)_3$ متصلين على التوالى :

$(\grave{X_L})_2$ ، $(X_L)_4$ متصلين على التوازى :

$(\grave{X_L})_3$ ، $(X_L)_5$ متصلين على التوالى :

$$\therefore (\grave{X_L})_2 = 6 + 4 = 10\ \Omega$$

$$\therefore (\grave{X_L})_3 = \frac{10}{2} = 5\ \Omega$$

$$\therefore (X_L)_{\text{كلية}} = 5 + 5 = 10\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{(X_L)_{\text{كلية}}} = \frac{100}{10} = \mathbf{10\ A}$$

مثال ٢

ثلاثة ملفات حث عديمة المقاومة كل منها عدد لفاته 100 لفة وطوله 15 cm ونصف قطره 2.2 cm، ملفوفة حول قضيب من الحديد نفاذيته المغناطيسية 0.002 Wb/A.m فإذا وصلت هذه الملفات بمصدر تيار متردد تردده 50 Hz، **احسب المفاعلة الحثية الكلية إذا وصلت مع بعضها على :**

(أ) التوالى.

(ب) التوازى.

(بفرض إهمال الحث المتبادل بينهم)

الحـــل

$n = 3$ | $N = 100$ | $\ell = 15 \times 10^{-2}\ m$ | $r = 2.2 \times 10^{-2}\ m$

$\mu = 0.002\ Wb/A.m$ | $f = 50\ Hz$ | $\grave{X}_L = ?$

$$L_1 = \frac{\mu A N^2}{\ell} = \frac{0.002 \times \frac{22}{7} \times (2.2 \times 10^{-2})^2 \times (100)^2}{15 \times 10^{-2}} = 0.2\ H$$

$$(X_L)_1 = 2\pi f L_1 = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.2 = 62.86\ \Omega$$

(أ)

$$\grave{X}_L = n\,(X_L)_1 = 3 \times 62.86 = \mathbf{188.58\ \Omega}$$

(ب)

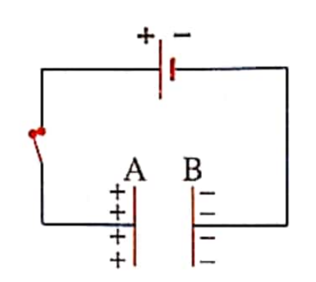
$$\grave{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n} = \frac{62.86}{3} = \mathbf{20.95\ \Omega}$$



المكثف الكهربى

المكثف الكهربى هو عبارة عن لوحين معدنيين متوازيين بينهما عازل ويخزن الطاقة الكهربية على صورة مجال كهربى.

توصيل المكثف مع مصدر تيار مستمر



* **عند توصيل مكثف ببطارية (كما بالشكل المقابل) بحيث يتصل اللوح A بالقطب الموجب واللوح B بالقطب السالب :**

- تنتقل الشحنة السالبة (الإلكترونات) من القطب السالب للبطارية إلى اللوح B ويقل جهده تدريجيًا.
- تؤثر شحنة اللوح B السالبة على اللوح A فتطرد الشحنة السالبة إلى القطب الموجب للبطارية ويرتفع جهد اللوح A تدريجيًا حيث تظهر عليه شحنة موجبة فينشأ فرق فى الجهد بين اللوحين يزداد بمرور الزمن.
- يزداد فرق الجهد بين اللوحين حتى يتساوى مع فرق الجهد بين قطبى البطارية فيتوقف انتقال الشحنات وبذلك يكون قد تم شحن المكثف.

* **مما سبق يتضح أن** التيار المار فى هذه الحالة هو تيار لحظى يكون قيمة عظمى فى لحظة التوصيل ويتناقص تدريجيًا حتى يتوقف عند تمام شحن المكثف.

سعة المكثف

* عند شحن المكثف الكهربى يكون أحد لوحيه موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة وبينهما فرق جهد (V)،

من هنا يمكن تعريف سعة المكثف كالتالى :

سعة المكثف (C)

النسبة بين كمية الشحنة الكهربية المتراكمة على أى من لوحى المكثف وفرق الجهد بينهما.

$$C = \frac{Q}{V}$$

* تتعين سعة المكثف (C) من العلاقة :

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربية المتراكمة على أى من لوحى المكثف،
(V) فرق الجهد بين لوحيه.

* تقاس سعة المكثف بوحدة **الفاراد (F)** ويكافئ **(C/V)**.

الفاراد

سعة مكثف إذا شحن بشحنة كهربية مقدارها 1 C يكون فرق الجهد بين لوحيه 1 V

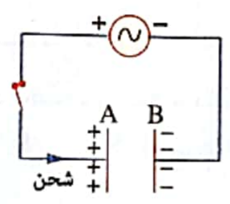
ثالثًا دائرة تيار متردد تحتوى على مكثف

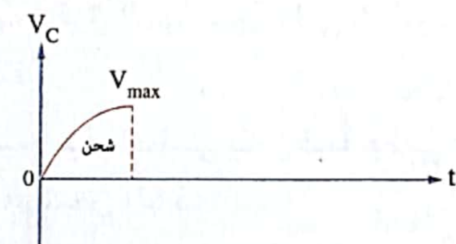
* عند توصيل مكثف بمصدر تيار متردد فإنه :

فى نصف الدورة الأول

١ فى الربع الأول

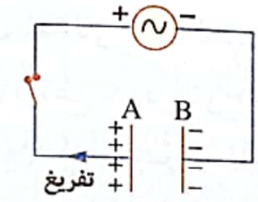
يتم شحن المكثف تدريجيًا حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى نهاية عظمى تساوى النهاية العظمى لـ emf للمصدر

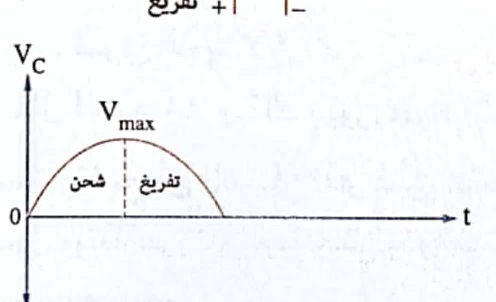




٢ فى الربع الثانى

يبدأ المكثف تفريغ شحنته عندما تبدأ emf للمصدر فى الهبوط حيث يكون جهد المكثف أكبر من جهد المصدر وعندما تصل emf للمصدر إلى الصفر يصل جهد المكثف أيضًا للصفر

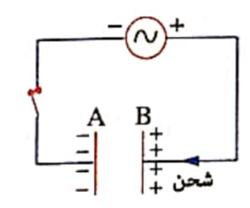


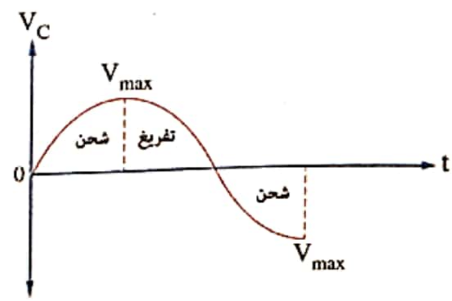


فى نصف الدورة الثانى

٣ فى الربع الثالث

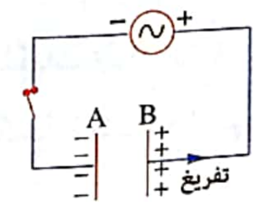
يتم شحن المكثف حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى النهاية العظمى لـ emf للمصدر كما بالربع الأول ولكن بشحنات مضادة

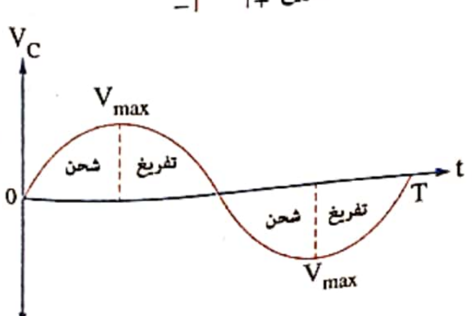




٤ فى الربع الرابع

يبدأ المكثف تفريغ شحنته كما بالربع الثانى عند انخفاض emf للمصدر حتى يصل كل منهما إلى الصفر فى نهاية النصف الثانى للدورة



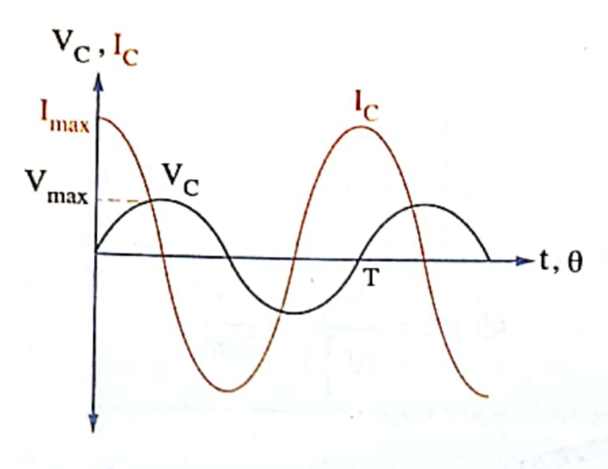


أى أن: المكثف يسمح بمرور التيار المتردد فى الدائرة الخارجية عن طريق الشحن والتفريغ، ويمكن حساب شدة التيار اللحظى المار فى الدائرة كالتالى :

$$\because I_C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad , \quad Q = CV_C$$

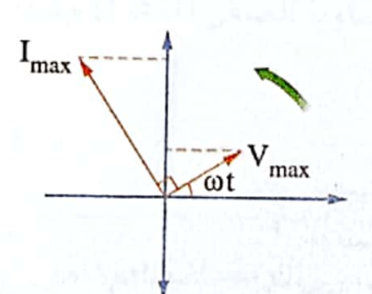
$$\therefore I_C = \frac{\Delta CV_C}{\Delta t} \quad \therefore I_C = C\frac{\Delta V_C}{\Delta t} \quad \therefore I_C \propto \frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

* يتغير فرق الجهد مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبى (كما بالشكل) تبعًا للعلاقة $(V_C = V_{max} \sin \omega t)$،



ويمثل $\left(\frac{\Delta V_C}{\Delta t}\right)$ ميل المماس لهذا المنحنى حيث :

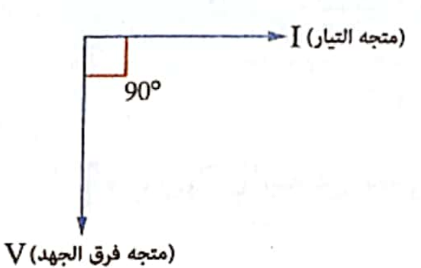
١ يكون هذا الميل نهاية عظمى عندما تكون قيمة فرق الجهد (V_C) مساوية للصفر وبذلك تكون قيمة شدة التيار (I_C) نهاية عظمى.



٢ بزيادة فرق الجهد يقل الميل تدريجيًا وتقل قيمة شدة التيار حتى يصل فرق الجهد إلى القيمة العظمى فتنعدم قيمة الميل وبذلك تصبح قيمة شدة التيار مساوية للصفر عند تلك اللحظة.

٣ عندما يقل فرق الجهد تصبح قيمة الميل مقدارًا سالبًا ويزداد تدريجيًا فتزداد قيمة شدة التيار اللحظى فى الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل قيمة فرق الجهد للصفر.

* مما سبق يتضح أن التيار يتقدم على فرق الجهد فى الطور بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة أى بزاوية $90°$ بسبب سعة المكثف.



المفاعلة السعوية

* يسبب وجود المكثف فى الدائرة الكهربية نوعًا من الممانعة لمرور التيار المتردد تسمى المفاعلة السعوية (X_C).

المفاعلة السعوية (X_C)

الممانعة التى يلقاها التيار المتردد أثناء مروره فى دائرة تحتوى على مكثف بسبب سعته.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

* تتعين المفاعلة السعوية (X_C) من العلاقة :
* تقاس المفاعلة السعوية بوحدة الأوم (Ω).

العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة السعوية لمكثف

١ تردد التيار :

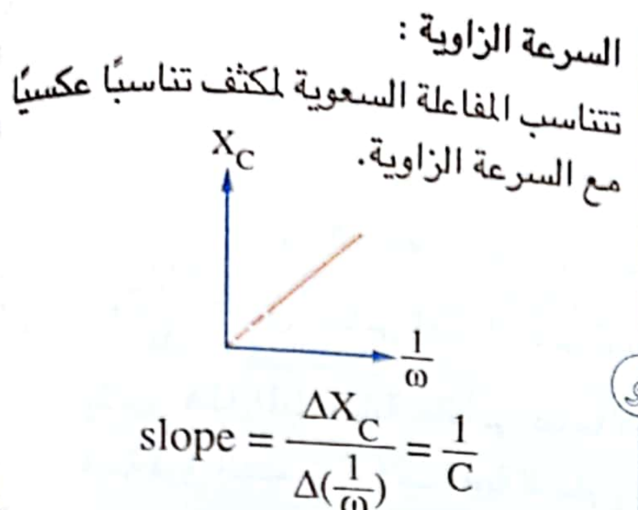
تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع تردد التيار.

$$\text{slope} = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{f})} = \frac{1}{2\pi C}$$

أو

السرعة الزاوية :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع السرعة الزاوية.



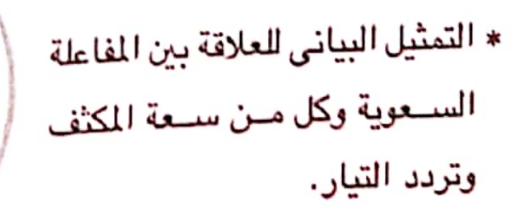
$$\text{slope} = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{\omega})} = \frac{1}{C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

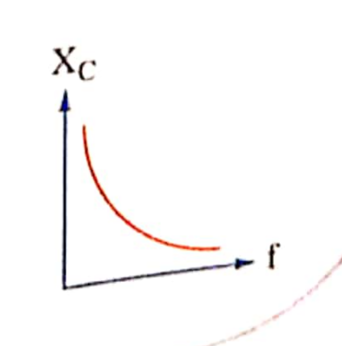
٢ سعة المكثف :

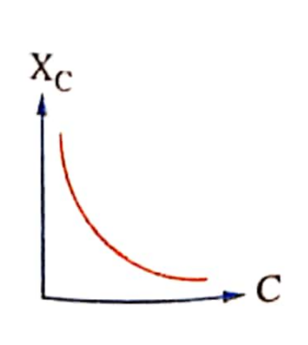
تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع سعة المكثف.

$$\text{slope} = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{C})} = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f}$$



* التمثيل البيانى للعلاقة بين المفاعلة السعوية وكل من سعة المكثف وتردد التيار.





مما سبق نستنتج أن :

- شدة التيار المتردد المار فى دائرة تحتوى على مكثف تتعين من العلاقة : $I = \frac{V_C}{X_C}$
- قيمة المفاعلة السعوية لمكثف (X_C) لا تعتمد على فرق الجهد بين لوحى المكثف (V_C) أو شدة التيار (I_C) بالدائرة.
- عند الترددات العالية جدًا فى دائرة مكثف تعتبر الدائرة الكهربية مغلقة رغم المادة العازلة بين لوحى المكثف.

لأن المفاعلة السعوية للمكثف (X_C) تتناسب عكسيًا مع تردد المصدر تبعًا للعلاقة $(X_C = \frac{1}{2\,\pi f C})$ ولذلك عند الترددات العالية جدًا تصبح قيمة X_C صغيرة جدًا وبالتالى يمر تيار كبير جدًا وتعتبر الدائرة مغلقة.

- المفاعلة السعوية لمكثف يمر فى دائرته تيار مستمر تساوى مالانهاية.

لأن التيار المستمر ثابت الشدة وموحد الاتجاه فيكون تردده مساويًا للصفر $(f = 0)$ وتبعًا للعلاقة $(X_C = \frac{1}{2\,\pi f C})$ تصبح قيمة المفاعلة السعوية مالانهاية.

ملاحظات

* عند توصيل دينامو تيار متردد مقاومته الأومية مهملة بمكثف وتغيير تردد ملف الدينامو نجد أن شدة التيار العظمى تتناسب طرديًا مع مربع تردد التيار حيث إنها تحسب من العلاقة :

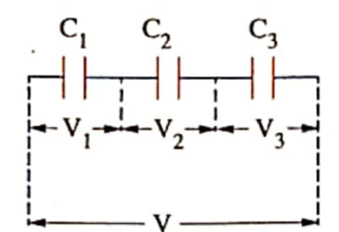
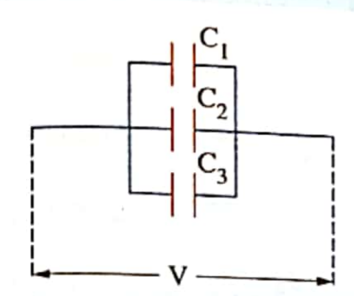
$$I_{max} = \frac{V_{max}}{X_C} = \frac{NBA\omega}{\frac{1}{\omega C}} = NBA\omega^2 C = NBA \times 4\,\pi^2 f^2 C$$

* لا تسبب المفاعلة السعوية لمكثف فقدًا فى الطاقة الكهربية.

لأن المكثف أثناء عملية الشحن يخزن الطاقة الكهربية على صورة مجال كهربى وأثناء التفريغ يفرغ شحنته على صورة طاقة كهربية.

السعة المكافئة لعدة مكثفات متصلة معًا

* عند توصيل عدة مكثفات معًا :

على التوالى	على التوازى
	
يتم شحن المكثفات بشحنات متساوية (Q) ويتوزع فرق الجهد (V) عليها	يكون فرق الجهد بين طرفى كل مكثف متساوى (V)
$\because \grave{V} = V_1 + V_2 + V_3$	$\because \grave{Q} = Q_1 + Q_2 + Q_3$
$\therefore \frac{Q}{\grave{C}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$	$\therefore V\grave{C} = VC_1 + VC_2 + VC_3$
$\therefore \frac{1}{\grave{C}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	$\therefore \grave{C} = C_1 + C_2 + C_3$
$\therefore \grave{X}_C = (X_C)_1 + (X_C)_2 + (X_C)_3$	$\therefore \frac{1}{\grave{X}_C} = \frac{1}{(X_C)_1} + \frac{1}{(X_C)_2} + \frac{1}{(X_C)_3}$
إذا كانت المكثفات متساوية السعة وعددها n	
$\grave{C} = \frac{C_1}{n}$	$\grave{C} = nC_1$
$\grave{X}_C = n\,(X_C)_1$	$\grave{X}_C = \frac{(X_C)_1}{n}$

مثال ١

ثلاثة مكثفات سعتها $20\ \mu F$ ، $80\ \mu F$ ، $40\ \mu F$ وصلت معًا على التوازى مع مصدر قوته الدافعة $100\ V$ وتردده $50\ Hz$، **أوجد** شدة التيار المار فى الدائرة.

الحل

$C_1 = 20 \times 10^{-6}\ F$ | $C_2 = 80 \times 10^{-6}\ F$ | $C_3 = 40 \times 10^{-6}\ F$

$V = 100\ V$ | $f = 50\ Hz$ | $I = ?$



∵ المكثفات متصلة معًا على التوازى.

$$\grave{C} = C_1 + C_2 + C_3$$
$$= (20 \times 10^{-6}) + (80 \times 10^{-6}) + (40 \times 10^{-6})$$
$$= 140 \times 10^{-6}\ F$$
$$\grave{X}_C = \frac{1}{2\pi f \grave{C}} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 140 \times 10^{-6}} = 22.73\ \Omega$$
$$\mathbf{I} = \frac{V}{\grave{X}_C} = \frac{100}{22.73} = \mathbf{4.4\ A}$$

مثال ٢

من الشكل المقابل، **احسب**

السعة الكلية لمجموعة المكثفات بين النقطتين x ، y

$C_1 = 9\,\mu F$, $C_2 = 9\,\mu F$, $C_3 = 9\,\mu F$, $C_4 = 6\,\mu F$, $C_5 = 12\,\mu F$, x, y

الحـــل

C_1 ، C_2 متصلين على التوازى :
$$\grave{C}_1 = 9 + 9 = 18\ \mu F$$

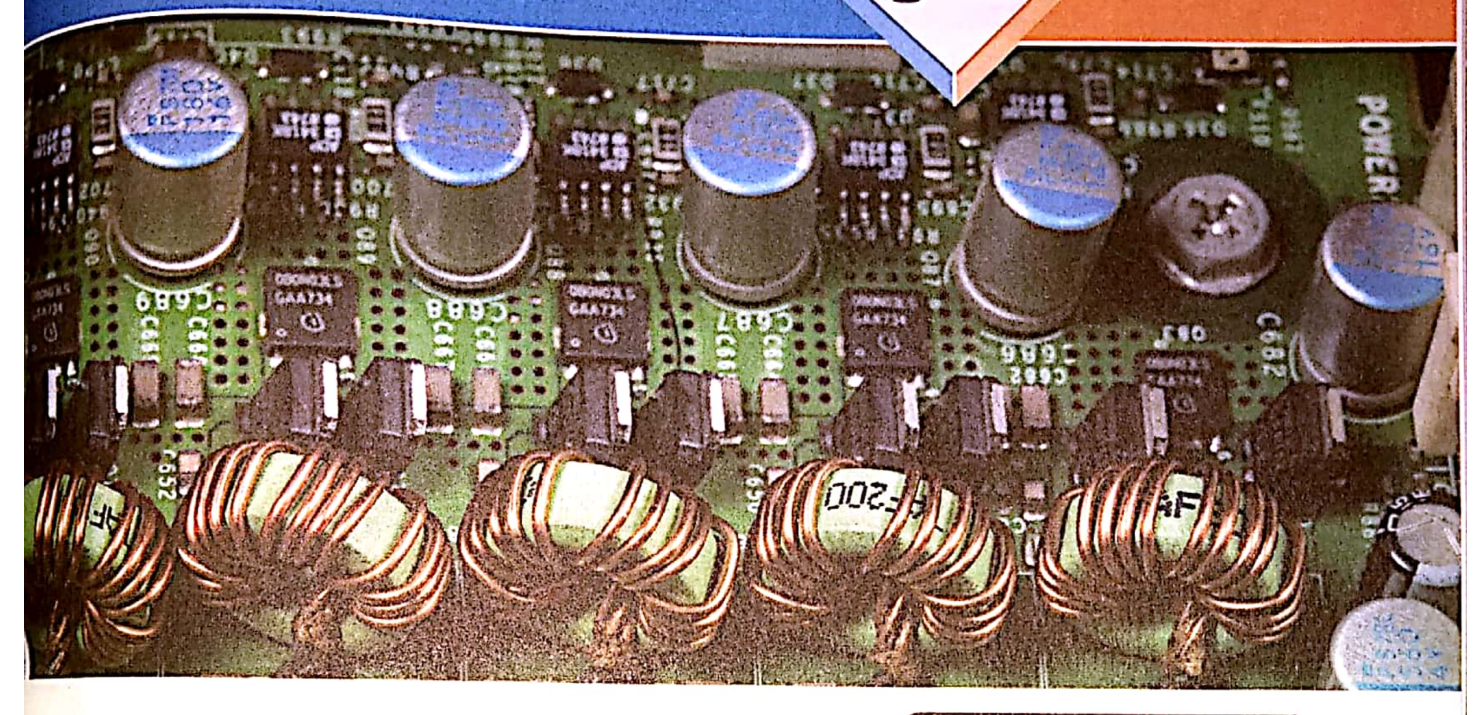
$\grave{C}_1$ ، C_3 متصلين على التوالى :
$$\grave{C}_2 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6\ \mu F$$

$\grave{C}_2$ ، C_4 متصلين على التوازى :
$$\grave{C}_3 = 6 + 6 = 12\ \mu F$$

$\grave{C}_3$ ، C_5 متصلين على التوالى :
$$\mathbf{C_{(كلية)}} = \frac{12}{2} = \mathbf{6\ \mu F}$$



تابع دوائر التيار المتردد



المعاوقة Impedance

* الدوائر الكهربية التى تحتوى على مقاومات (R) وملفات حث (L) ومكثفات (C) ومصدر للتيار المتردد توجد بها مفاعلة للتيار المتردد (مفاعلة حثية أو مفاعلة سعوية) بالإضافة إلى المقاومات الأومية ومقاومة الأسلاك ويطلق على مكافئ المفاعلة والمقاومة معًا اسم **المعاوقة (Z)**.

المعاوقة (Z)

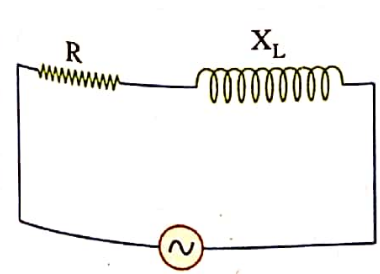
مكافئ المقاومة والمفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية فى دائرة تيار متردد.

* تقاس المعاوقة بوحدة **الأوم (Ω)**.

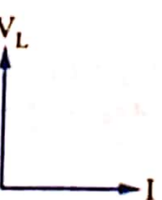
رابعًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالى RL Circuit

* من المستحيل عمليًا وجود ملف حث عديم المقاومة لأن أى ملف يمتلك قدر ولو ضئيل من المقاومة الناتجة عن مقاومة الأسلاك المستخدمة فى صناعته.

* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مصدر تيار متردد متصل على التوالى مع ملف حث له مقاومة أومية أو ملف حث متصل بمقاومة أومية كما بالشكل المقابل، فإنه :



فى ملف الحث	فى المقاومة الأومية
يتقدم فرق الجهد (V_L) على التيار (I) بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة (زاوية طور 90°)	يتفق فرق الجهد (V_R) والتيار (I) فى الطور



V_R →
I →

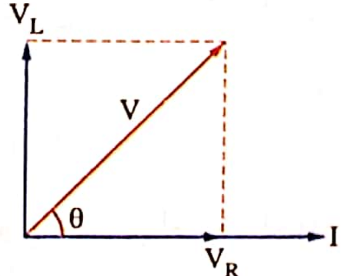
ويتساوى التيار فى المقاومة مع التيار فى ملف الحث فى القيمة ويتفقا فى الطور لأنهم متصلين معًا على التوالى

وبالتالى :

- يتقدم فرق الجهد عبر الملف (V_L) على فرق الجهد عبر المقاومة (V_R) بزاوية طور 90° ويتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

- يتقدم فرق الجهد الكلى (V) فى الطور على شدة التيار (I) (أو فرق الجهد بين طرفى المقاومة V_R) بزاوية θ تتعين من العلاقة :



$$\tan\theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R}$$

حيث : (θ) دائمًا موجبة (90° > θ > 0°)

$$\because\ V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L$$

$$\therefore\ IZ = \sqrt{I^2R^2 + I^2X_L^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

بالقسمة على I

$$\therefore\ Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L}$$

مثال

مصـدر تيار متردد قوتـه الدافعة الفعالة 80 V وتردده 50 Hz موصل على التوالى مع ملف حثه الذاتى $\frac{21}{220}$ H ومقاومة 40 Ω، **احسب :**

(أ) المعاوقة الكلية.

(ب) فرق الجهد بين طرفى كل من المقاومة والملف، وهل يمكن جمع الجهود جبريًا ؟

(جـ) زاوية الطور بين التيار والجهد الكلى.

الحل

$V = 80\ V$	$f = 50\ Hz$	$L = \frac{21}{220}\ H$	$R = 40\ \Omega$
$Z = ?$	$V_R = ?$	$V_L = ?$	$\theta = ?$

(أ)

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{21}{220} = 30\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} = 50\ \Omega$$

(ب)

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80}{50} = 1.6\ A$$

$$V_R = IR = 1.6 \times 40 = 64\ V$$

$$V_L = IX_L = 1.6 \times 30 = 48\ V$$

المجموع الجبرى لفروق الجهد :

$$\grave{V} = 64 + 48 = 112\ V$$

وهو أكبر من القوة الدافعة للمصدر،

أما إذا جُمعت فروق الجهد جمعًا اتجاهيًا فإن :

$$\grave{V} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(64)^2 + (48)^2} = 80\ V$$

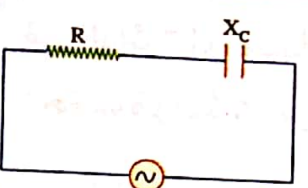
وهذه القيمة (80 V) تساوى القوة الدافعة الكهربية للمصدر الكهربى لذلك لا تجمع الجهود جبريًا.

(جـ)

$$\tan\theta = \frac{X_L}{R} = \frac{30}{40} = 0.75$$

$$\theta = 36.87°$$

خامسًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة ومكثف متصلين على التوالى RC Circuit



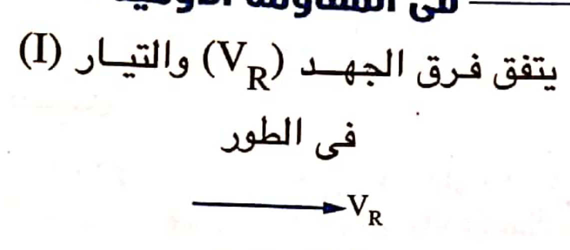
* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية ومصدر تيار متردد موصلة على التوالى كما بالشكل المقابل، فإنه :

فى المكثف

يتأخر فرق الجهد (V_C) عن التيار (I) بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة (زاوية طور 90°)

فى المقاومة الأومية

يتفق فرق الجهد (V_R) والتيار (I) فى الطور



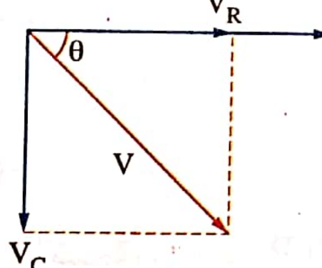
ويمر نفس التيار المتردد فى المقاومة وفى دائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور لكل منهما لأنهما متصلين معًا على التوالى

وبالتالى :

- يتأخر فرق الجهد عبر المكثف (V_C) عن فرق الجهد عبر المقاومة (V_R) بزاوية طور 90° ويتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

- يتأخر فرق الجهد الكلى (V) فى الطور عن شدة التيار (I) (أو فرق الجهد بين طرفى المقاومة V_R) بزاوية θ تتعين من العلاقة :



$$\tan\theta = \frac{-V_C}{V_R} = \frac{-IX_C}{IR} = \frac{-X_C}{R}$$

حيث : (θ) دائمًا سالبة ($90° > \theta > 0°$)، والإشارة السالبة تعنى أن الجهد الكلى V متأخر عن التيار I بزاوية θ

$$\because V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{I^2R^2 + I^2X_C^2} = I\sqrt{R^2 + X_C^2}$$

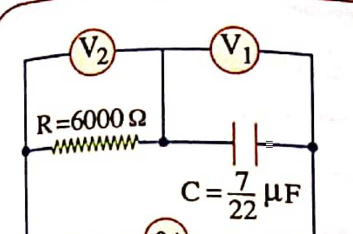
بالقسمة على I

$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_C}{X_C}$$

مثال ١



فى الدائرة الموضحة،

احسب قراءة كل من : V_1 ، V_2

الحل

$R = 6000\ \Omega$	$C = \frac{7}{22}\ \mu F$	$f = 62.5\ Hz$	$V = 200\ V$
$V_1 = ?$	$V_2 = ?$		

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 62.5 \times \frac{7}{22} \times 10^{-6}} = 8000\ \Omega$$

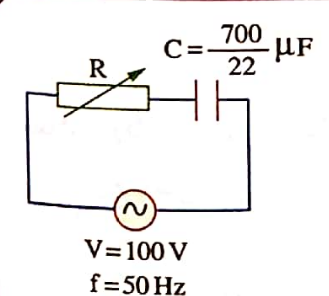
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(6000)^2 + (8000)^2} = 10000\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{10000} = 0.02\ A$$

$$\therefore V_1 = V_C = IX_C = 0.02 \times 8000 = 160\ V$$

$$\therefore V_2 = V_R = IR = 0.02 \times 6000 = 120\ V$$

مثال ٢



فى الدائرة الموضحة، **ما** قيمة R التى تجعل التيار المار فى الدائرة 0.2 A ؟

الحل

$C = \frac{700}{22} \times 10^{-6}\ F$	$V = 100\ V$	$f = 50\ Hz$
$I = 0.2\ A$	$R = ?$	

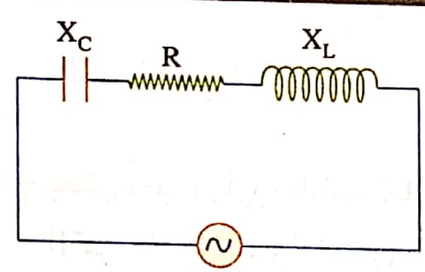
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.2} = 500\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{700}{22} \times 10^{-6}} = 100\ \Omega$$

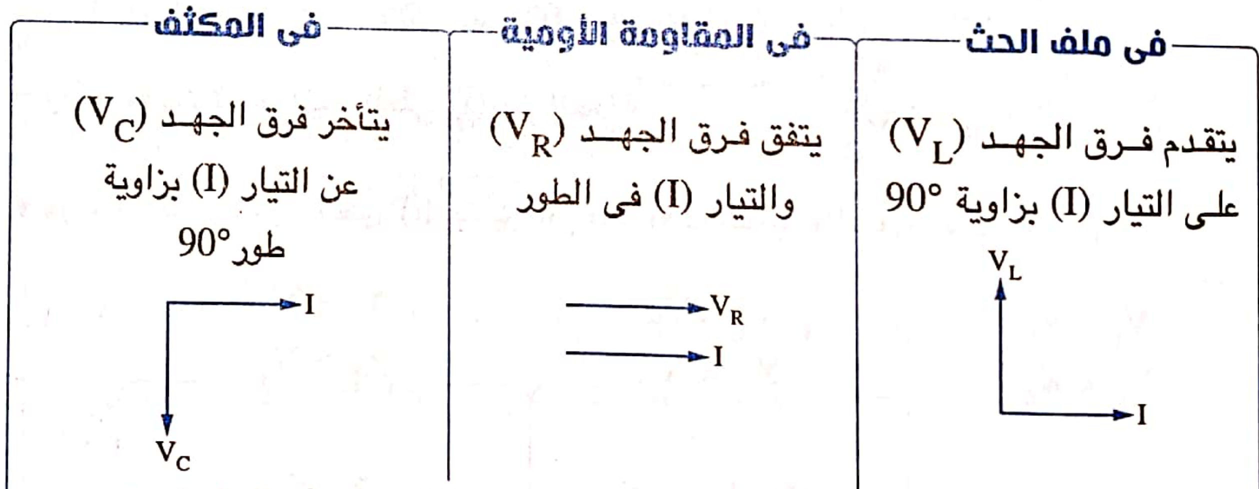
$$\because Z^2 = X_C^2 + R^2$$

$$\therefore R = \sqrt{Z^2 - X_C^2} = \sqrt{(500)^2 - (100)^2} = 489.9\ \Omega$$

سادسًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف متصلة معًا على التوالى RLC Circuit



* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية وملف حث ومصدر تيار متردد متصلة جميعًا على التوالى كما بالشكل المقابل، فإنه :



ويمر نفس التيار فى كل من المقاومة وملف الحث ودائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور لكل منهم لأنهم متصلين جميعًا على التوالى .

وبالتالى :

- يتقدم الجهد فى الملف (V_L) عن الجهد فى المقاومة (V_R) بزاوية 90° ويتأخر الجهد فى المكثف (V_C) عن الجهد فى المقاومة (V_R) بزاوية 90° وبذلك يكون فرق الطور بين V_L و V_C يساوى 180°

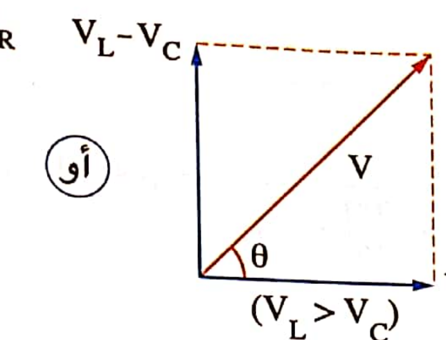
V_L ، V_R ، V_C — ($V_L > V_C$)

أو

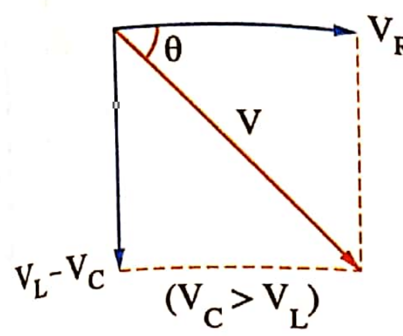
V_L ، V_R ، V_C — ($V_C > V_L$)

- يتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$



أو



$$\because V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

بالقسمة على I

$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- يمكن تعيين زاوية الطور (θ) بين الجهد الكلى (V) والتيار (I) من العلاقة :

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L} = \frac{V_C}{X_C}$$

* وبالتالى تتأثر زاوية الطور (θ) بتغير قيم المفاعلات الحثية والسعوية فعندما تكون :

	$V_L > V_C$ $X_L > X_C$	$V_L = V_C$ $X_L = X_C$	$V_L < V_C$ $X_L < X_C$
تكون زاوية الطور (θ)	موجبة أى أن : الجهد الكلى (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية (θ)	مساوية للصفر أى أن : الجهد الكلى (V) يتفق مع التيار (I) فى الطور	سالبة أى أن : الجهد الكلى (V) يتأخر عن التيار (I) بزاوية (θ)
وتكون للدائرة خواص	حثية	أومية	سعوية

ملاحظات

* فى دائرة RL أو RC أو RLC تكون القدرة (P_w) المستنفذة فى الدائرة هى القدرة المستنفذة عبر المقاومة الأومية فى صورة طاقة حرارية تبعًا للعلاقة : $\left(P_w = I^2R = \frac{V_R^2}{R}\right)$.

* لا يمكن جمع الجهود جبريًا فى حالة استخدام تيار متردد يمر فى دائرة RLC،
لأنه فى ملف الحث يتقدم فرق الجهد (V_L) على التيار (I) بزاوية 90°، وعبر المكثف يتخلف فرق الجهد (V_C) عن التيار (I) بزاوية 90°، أما فى حالة مقاومة أومية عديمة الحث يكون فرق الجهد والتيار لهما نفس الطور، وبالتالى لا يمكن جمع الجهود لأنها تعامل كمتجهات فيتم جمعها جمع اتجاهى $\left(V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}\right)$.

مثال ١

دائرة تيار متردد تحتوى على ملف ومقاومة ومكثف متصلة معًا على التوالى فإذا كان فرق الجهد عبر الملف 80 V وعبر المقاومة 40 V وعبر المكثف 50 V وكان التيار فى الدائرة 2 A، **ارسم مخطط الجهد، ثم احسب :**

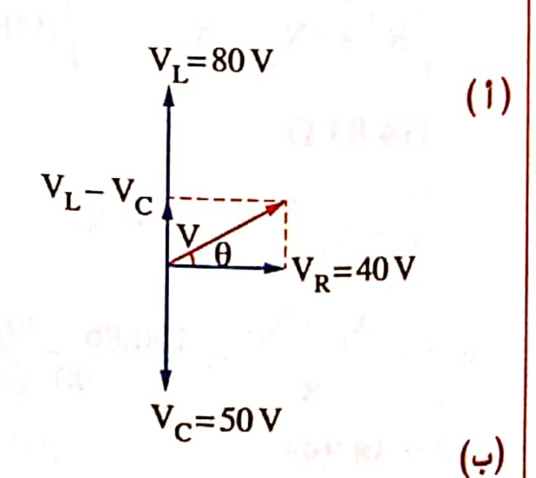
(أ) فرق الجهد الكلى.
(ب) زاوية الطور، وما خواص الدائرة ؟
(جـ) القدرة الحرارية المستنفذة.
(د) معاوقة الدائرة.

الحل

$V_L = 80\ V$ | $V_R = 40\ V$ | $V_C = 50\ V$ | $I = 2\ A$

$V = ?$ | $\theta = ?$ | $P_w = ?$ | $Z = ?$

(أ)



$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$
$$= \sqrt{(40)^2 + (80-50)^2}$$
$$= 50\ V$$

(ب)

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{80-50}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = 36.87°$$

للدائرة **خواص حثية** لأن الجهد الكلى (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية $36.87°$

(جـ)

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2} = 20\ \Omega$$

$$P_w = I^2R = 4 \times 20 = \mathbf{80\ W}$$

(د)

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{50}{2} = \mathbf{25\ \Omega}$$

مثال ٢

وصل مكثف سعته $5\ \mu F$ على التوالى بملف حثه الذاتى $0.06\ H$ ومولد تيار متردد تردده $400\ Hz$ يعطى فرقًا فى الجهد عند طرفى مخرجه $30\ V$ فإذا كانت المقاومة الأومية للدائرة $90\ \Omega$، **أوجد :**

(أ) المفاعلة الحثية للملف والمفاعلة السعوية للمكثف.

(ب) معاوقة الدائرة. (جـ) شدة التيار. (د) زاوية الطور.

الحـــل

$C = 5 \times 10^{-6}\ F$	$L = 0.06\ H$	$f = 400\ Hz$	$V = 30\ V$		
$R = 90\ \Omega$	$X_L = ?$	$X_C = ?$	$Z = ?$	$I = ?$	$\theta = ?$

(أ)

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 0.06 = \mathbf{150.86\ \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 5 \times 10^{-6}} = \mathbf{79.55\ \Omega}$$

(ب)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(90)^2 + (150.86 - 79.55)^2}$$

$$= \mathbf{114.83\ \Omega}$$

(جـ)

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{30}{114.83} = \mathbf{0.26\ A}$$

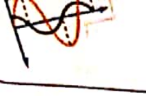
(د)

$$\tan\theta = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{150.86 - 79.55}{90}$$

$$\therefore \theta = \mathbf{38.39°}$$

أى أن : الجهد الكلى يتقدم على التيار بزاوية قدرها $\mathbf{38.39°}$



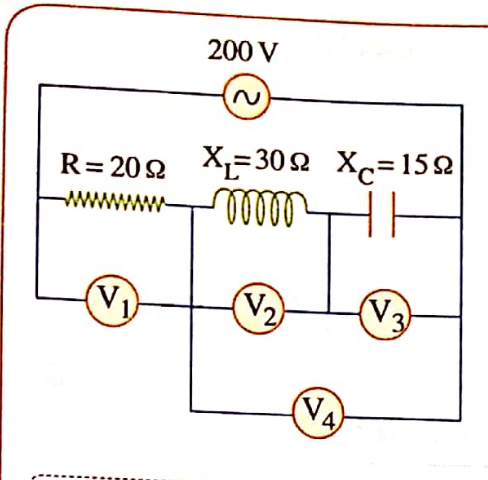


مثال ٣

الشكل المقابل يوضح دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث ومكثف، **احسب :**

(أ) شدة التيار المار بالدائرة.

(ب) قراءة كل من الفولتميترات الأربعة.



الحل

$V = 200\ V$	$R = 20\ \Omega$	$X_L = 30\ \Omega$	$X_C = 15\ \Omega$

$I = ?$	$V_1 = ?$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$	$V_4 = ?$

(أ)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{(20)^2 + (30 - 15)^2}$$

$$= 25\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{25} = 8\ A$$

(ب)

$$V_1 = IR = 8 \times 20 = 160\ V$$

$$V_2 = IX_L = 8 \times 30 = 240\ V$$

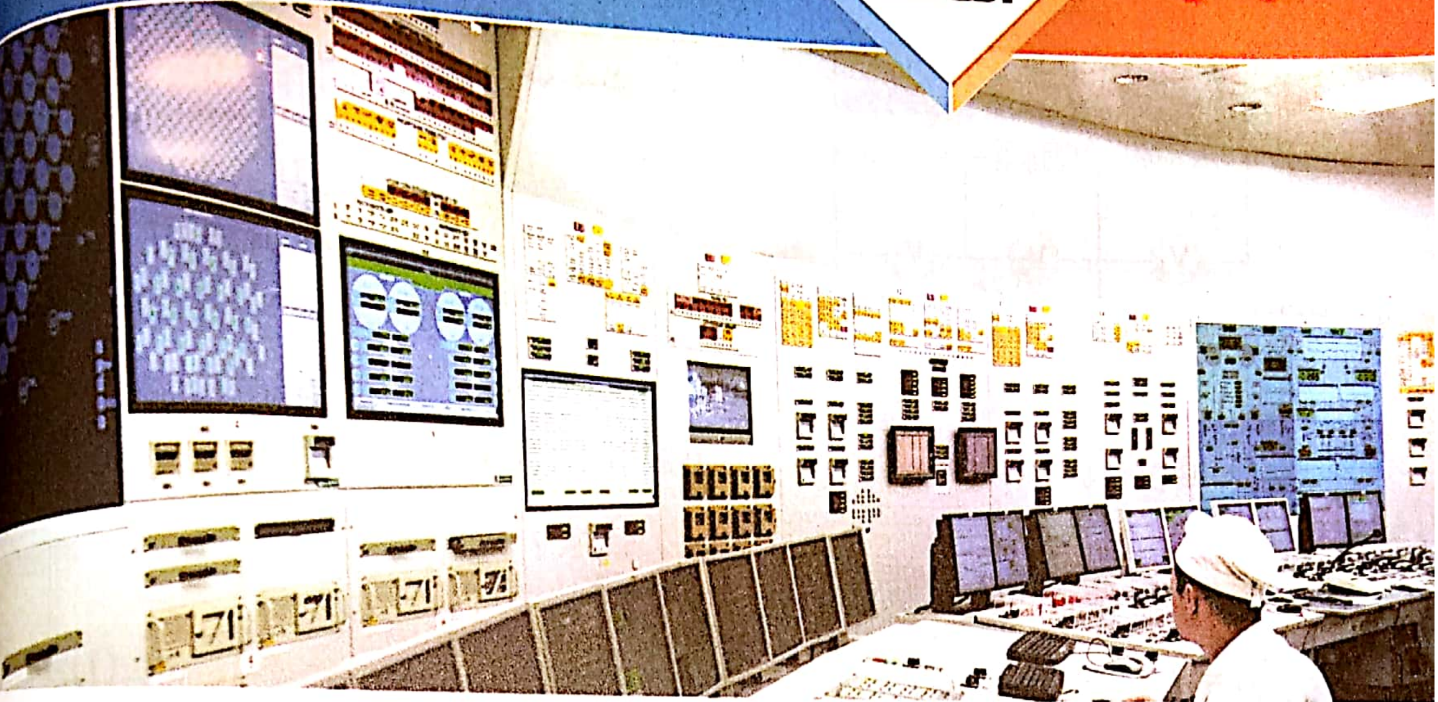
$$V_3 = IX_C = 8 \times 15 = 120\ V$$

$$V_4 = V_2 - V_3$$

$$= 240 - 120$$

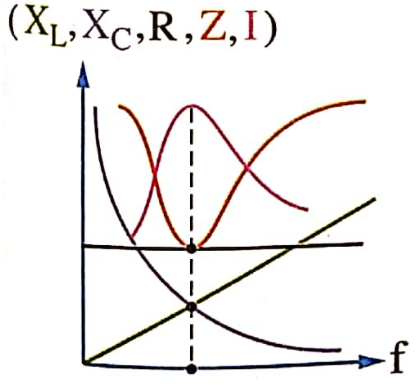
$$= 120\ V$$





درست خلال هذا الفصل العلاقة بين تردد التيار وكل من R و X_L و X_C و Z و I والتى يمكن تمثيلها بيانيًا بالشكل التالى، ومنه :

- تظل قيمة المقاومة الأومية ثابتة بتغير تردد التيار.
- تزداد المفاعلة الحثية للملف بزيادة تردد التيار ($X_L \propto f$).
- تقل المفاعلة السعوية للمكثف بزيادة تردد التيار ($X_C \propto \frac{1}{f}$).
- مبتدءًا من التردد = صفر :



– تقل معاوقة الدائرة (Z) بزيادة تردد التيار حتى تصل إلى نهاية صغرى تساوى (R) عندما تكون $X_L = X_C$ وهو ما يطلق عليه **حالة الرنين**، ثم تزداد معاوقة الدائرة (Z) بعد ذلك بزيادة تردد التيار.

– تزداد شدة التيار الكلى (I) المار بالدائرة بزيادة التردد حتى تصل إلى نهاية عظمى (I_{max}) عندما تكون $X_L = X_C$ ثم تقل بعد ذلك بزيادة التردد ويرجع ذلك إلى أن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع معاوقة الدائرة.



حالة الرنين

* عندما تكون الدائرة فى حالة رنين، فإن :

١- المفاعلة الحثية للملف (X_L) = المفاعلة السعوية للمكثف (X_C) وتلاشى كل منهما تأثير الأخرى.

٢- فرق الجهد بين طرفى الملف (V_L) = فرق الجهد بين طرفى المكثف (V_C)، وبالتالى يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة (V_R) = فرق الجهد بين طرفى المصدر المتردد (V).

٣- الدائرة يكون لها أقل معاوقة وهى المقاومة الأومية $(Z = R)$.

٤- الدائرة يمر فيها أكبر قيمة فعالة للتيار $(I = \frac{V}{R})$.

٥- التيار يتفق مع فرق الجهد الكلى فى الطور أى أن زاوية الطور (θ) = صفر.

٦- تردد الدائرة (تردد الرنين) مساوى لتردد المصدر.

إذا تحقق أحد هذه الشروط تتحقق باقى الشروط.

استنتاج تردد الرنين

* فى حالة الرنين تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية :

$$\because X_L = X_C \qquad \therefore 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\therefore f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \qquad \therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

العوامل التى يتوقف عليها تردد الرنين

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

١- سعة المكثف :
يتناسب تردد الرنين تناسبًا عكسيًا مع الجذر التربيعى لسعة المكثف.

(graph: f against $\frac{1}{\sqrt{C}}$)

$$slope = \frac{\Delta f}{\Delta\left(\frac{1}{\sqrt{C}}\right)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}}$$

٢- معامل الحث الذاتى للملف :
يتناسب تردد الرنين تناسبًا عكسيًا مع الجذر التربيعى لمعامل الحث الذاتى للملف.

(graph: f against $\frac{1}{\sqrt{L}}$)

$$slope = \frac{\Delta f}{\Delta\left(\frac{1}{\sqrt{L}}\right)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C}}$$

مثال

أوجد تردد التيار فى دائرة RLC فى حالة رنين إذا كان معامل الحث الذاتى للملف 16 mH وسعة المكثف 4.9 µF

الحل

$L = 16\ mH$ | $C = 4.9\ \mu F$ | $f = ?$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times \sqrt{16 \times 10^{-3} \times 4.9 \times 10^{-6}}} = 568.18\ Hz$$

إرشاد

* فى حالة المقارنة بين ترددى دائرتى رنين فإن :

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{L_2 C_2}{L_1 C_1}}$$

مثال

وصل ملف بمكثف سعته 18 µF فى دائرة تيار متردد فكان تردد الرنين لهذه الدائرة 2×10^4 Hz وعندما وصل نفس الملف بمكثف آخر أصبح تردد الرنين 3×10^4 Hz، **احسب** سعة المكثف الثانى.

الحل

$C_1 = 18\ \mu F$ | $f_1 = 2 \times 10^4\ Hz$ | $f_2 = 3 \times 10^4\ Hz$ | $C_2 = ?$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$\frac{2 \times 10^4}{3 \times 10^4} = \sqrt{\frac{C_2}{18}}$$

$$\frac{4}{9} = \frac{C_2}{18}$$

$$C_2 = 8\ \mu F$$



الدائرة المهتزة Oscillator Circuit

الدائرة المهتزة

دائرة كهربية يحدث بها تبادل للطاقة المخزونة فى ملف حث على هيئة مجال مغناطيسى مع الطاقة المخزونة فى مكثف على هيئة مجال كهربى.

الاستخدام : تستخدم فى أجهزة إرسال موجات اللاسلكى.

التركيب :

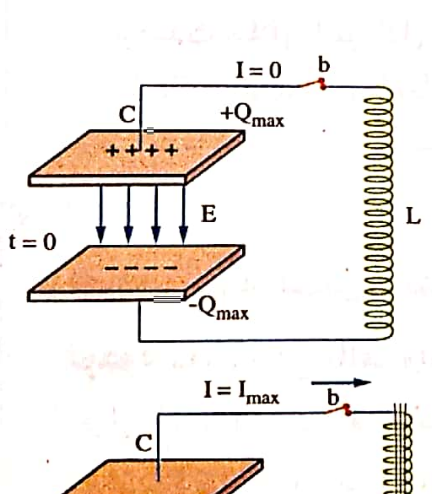
١ ملف حث له مقاومة صغيرة جدًا.
٢ مكثف.
٣ مصدر تيار مستمر (بطارية).
٤ مفتاحين a ، b

شرح العمل :

١ **عند غلق المفتاح a وترك المفتاح b مفتوح :**

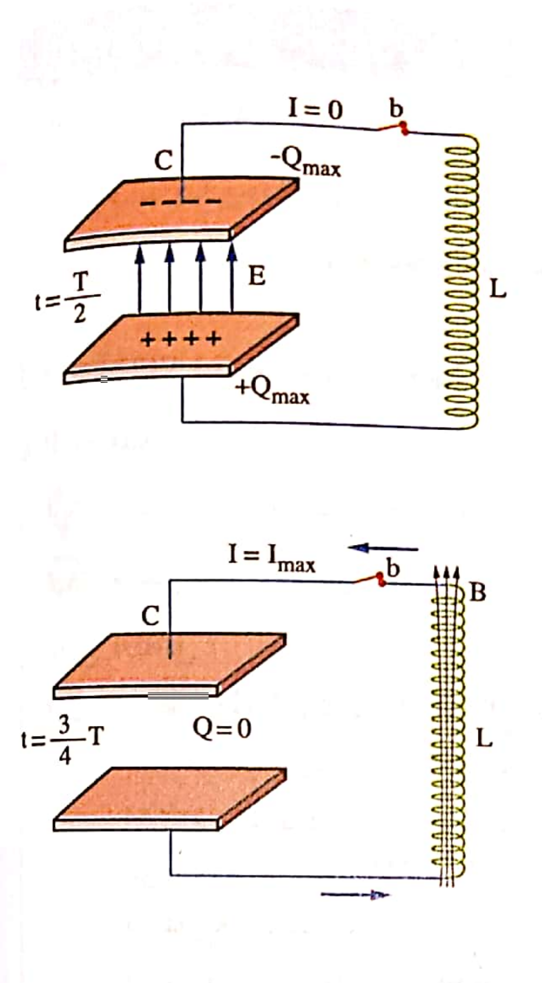
- يمر تيار لحظى فى الدائرة يسبب شحن لوح المكثف المتصل بالقطب الموجب للبطارية بشحنة موجبة وشحن لوح المكثف المتصل بالقطب السالب للبطارية بشحنة سالبة.
- يتوقف مرور التيار الكهربى عندما يتساوى فرق الجهد المتولد بين لوحى المكثف مع فرق جهد البطارية.
- نتيجة وجود فرق جهد بين لوحى المكثف يتولد مجال كهربى بينهما وتختزن الطاقة على هيئة مجال كهربى.
- عند فتح المفتاح a يبقى المكثف مشحونًا.

٢ **عند غلق المفتاح b والإبقاء على المفتاح a مفتوح :**



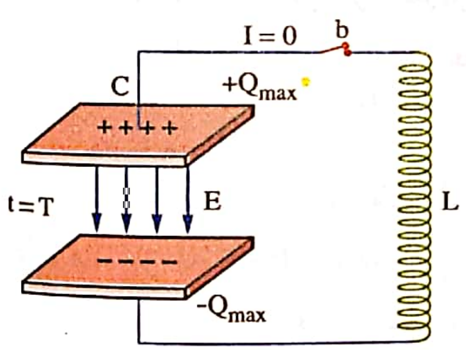
- يبدأ المكثف فى تفريغ شحنته عبر الملف، ونظرًا لأن فرق الجهد بين لوحى المكثف كبير يكون معدل تغير التيار المار فى الملف نهاية عظمى ويمر من اللوح الموجب إلى اللوح السالب خلال الدائرة الخارجية تيار لحظى تتزايد قيمته تدريجيًا من الصفر.
- أثناء تفريغ المكثف يقل فرق الجهد بين لوحى المكثف تدريجيًا مما يؤدى إلى تناقص معدل تغير التيار المار فى الدائرة مع زيادة قيمته حتى يصل إلى قيمة عظمى عند تمام تفريغ المكثف، فتتحول الطاقة الكهربية المختزنة فى المكثف إلى طاقة مغناطيسية تختزن فى الملف.

- نظرًا لأن المكثف فرغ شحنته بالكامل فإن فرق الجهد فى الدائرة ينعدم وبالتالى تبدأ شدة التيار فى النقصان مما يؤدى إلى تولد قوة دافعة كهربية مستحثة طردية بالحث الذاتى للملف تسحب المزيد من الشحنة الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب فيبدأ تحول الطاقة المغناطيسية المختزنة فى الملف إلى طاقة كهربية تختزن فى المكثف فيُشحن اللوح الذى كان سالبًا بشحنة موجبة ويشحن اللوح الذى كان موجبًا بشحنة سالبة مما يؤدى إلى تولد فرق جهد بين لوحى المكثف فى اتجاه معاكس لاتجاهه لحظة غلق المفتاح b حتى يتم شحن المكثف بالكامل فتكون الطاقة المغناطيسية المختزنة فى الملف قد تحولت بالكامل لطاقة كهربية تختزن فى المكثف وهنا تكون شدة التيار وصلت إلى الصفر.



- يفرغ المكثف مرة أخرى شحنته (فى اتجاه معاكس لاتجاه التفريغ الأول).

وهكذا تتكرر عملية التفريغ والشحن وتحدث اهتزازات كهربية سريعة جدًا فى الدائرة يحدث خلالها تبادل الطاقة باستمرار بين المجالين الكهربى والمغناطيسى.



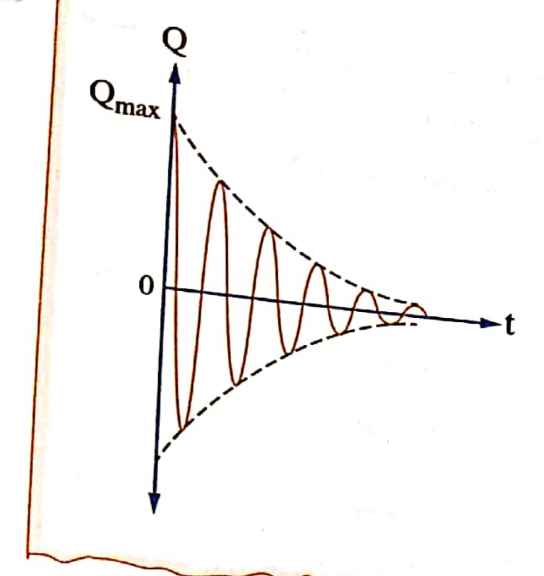
ملاحظات

* **تتوقف عملية الشحن والتفريغ فى الدائرة المهتزة بعد فترة،**

لوجود مقاومة فى الملف وأسلاك التوصيل فيتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية مما يؤدى إلى فقد تدريجى فى الطاقة الكهربية فتقل شدة التيار المتردد فى الدائرة تدريجيًا ويقل أقصى فرق جهد بين لوحى المكثف تدريجيًا إلى أن ينعدم وتتوقف عمليتى الشحن والتفريغ وينعدم التيار.



* لكى تستمر عملية الشحن والتفريغ فى الدائرة المهتزة يجب تغذية المكثف بشحنات إضافية كل فترة، **لتعويض** الفقد المستمر فى الطاقة الكهربية الناتج عن مقاومة الملف والأسلاك الأخرى.
* يمثل الشكل البيانى المقابل اضمحلال الشحنة على لوحى المكثف بمرور الزمن :



دائرة الرنين Tuning Circuit

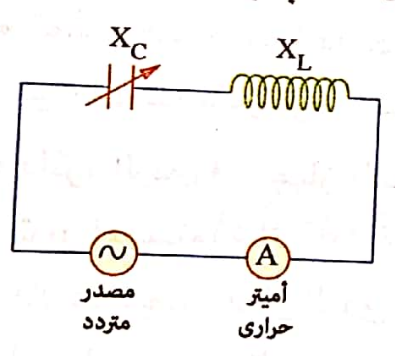
دائرة الرنين

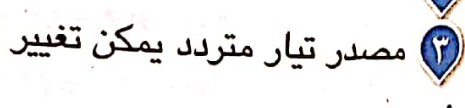
دائرة مهتزة تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف ومصدر متردد ولا تسمح إلا بمرور التيار الذى يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريبًا جدًا منه.

الاستخدام :

تستخدم فى أجهزة الاستقبال اللاسلكى لاختيار موجة البث المراد استقبالها.

التركيب :



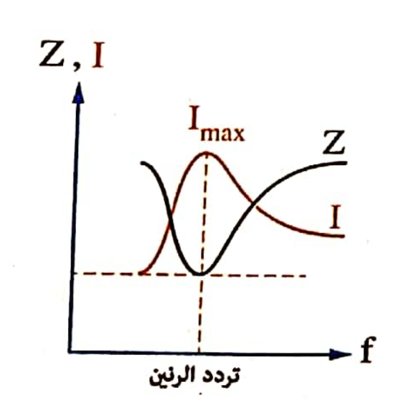


1. مكثف متغير السعة.
2. ملف حث مقاومته صغيرة ويمكن تغيير عدد لفاته.
3. مصدر تيار متردد يمكن تغيير تردده.

شرح العمل :

عند مرور تيار فى الدائرة مع تغيير تردد المصدر الكهربى فإن شدة التيار تتغير حيث :

- تقل كلما زاد الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تزيد كلما قل الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تكون أكبر ما يمكن إذا اصبح تردد المصدر مساوى لتردد الدائرة (أى عندما تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية) وتكون الدائرة فى حالة رنين.

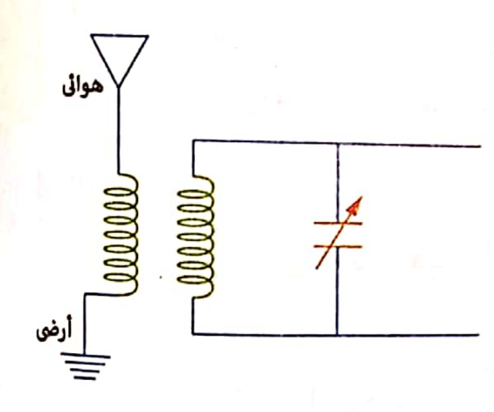


* مما سبق نستنتج أنه : إذا أثر فى دائرة مهتزة مصادر كهربية مختلفة التردد فى وقت واحد فإن الدائرة لا تسمح إلا بمرور التيار الذى يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريبًا جدًا منه وتكون الدائرة فى تلك اللحظة فى حالة رنين.

ملاحظات

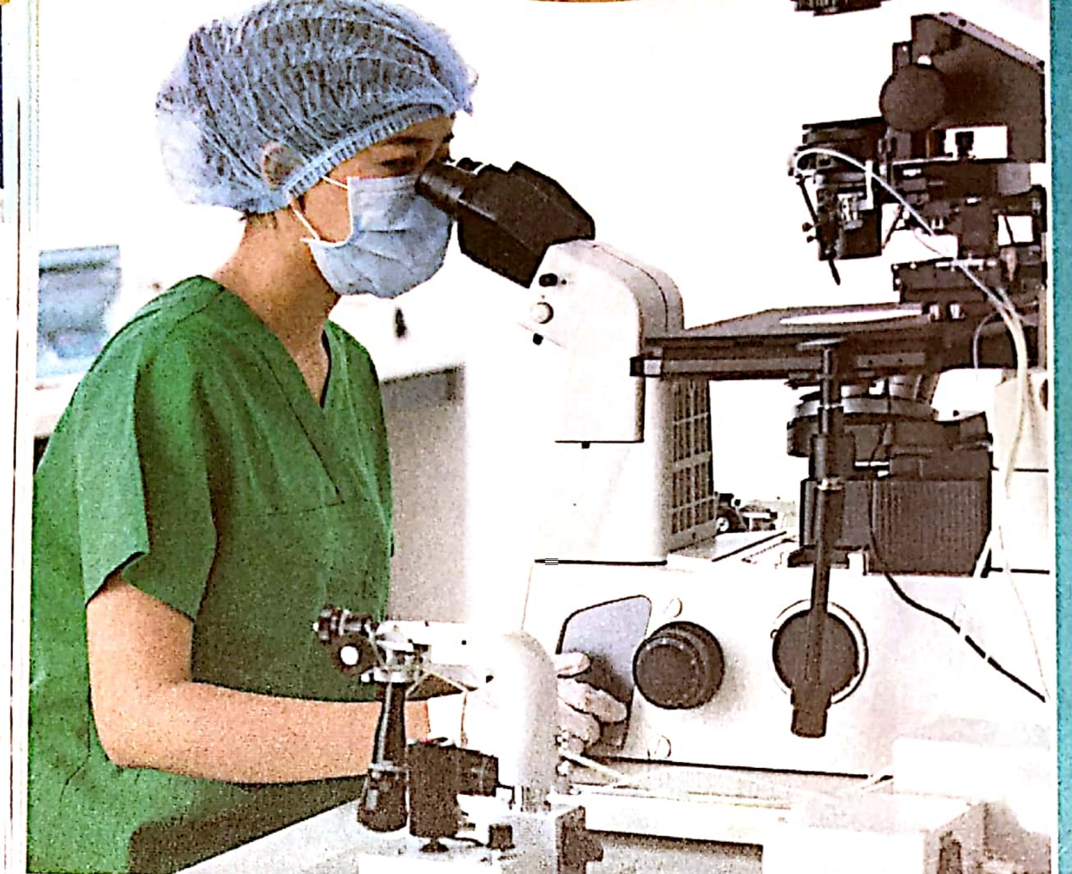
* يمكن تغيير تردد المصدر أو سعة المكثف أو عدد لفات الملف (معامل الحث الذاتى للملف) حتى يتفق تردد الدائرة مع تردد المصدر.
* يمكن تشبيه ما يحدث فى دائرة الرنين بالرنين فى الصوت فمثلًا عندما يتساوى تردد شوكتين رنانتين مهتزتين يقوى الصوت وعند اختلاف ترددهما يضعف الصوت.

عمل دائرة الرنين فى أجهزة الاستقبال اللاسلكى



* تتصل دائرة الرنين فى جهاز الاستقبال اللاسلكى بهوائى جهاز الاستقبال (الإيريال).
* تصل إلى الهوائى موجات محطات الإذاعة المختلفة لكل منها تردد معين.
* تؤثر هذه الترددات على الهوائى وتولد فى ملفه تيارات لها نفس تردد المحطات.
* دائرة الرنين فى جهاز الاستقبال تسمح فقط بمرور التيار الذى يتفق مع تردد الدائرة وعندما تريد الاستماع إلى إذاعة معينة فإنك تغير من تردد الدائرة بتغيير سعة المكثف أو عدد لفات الملف فيمر التيار الذى يتفق تردده مع تردد الدائرة ثم يمر فى جهاز الاستقبال ويخضع لعمليات معينة مثل التكبير والتقويم وفصل التيار المعبر عن الصوت الذى يمر فى السماعة.





الوحدة الثانية

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصل 5

ازدواجية الموجة والجسيم

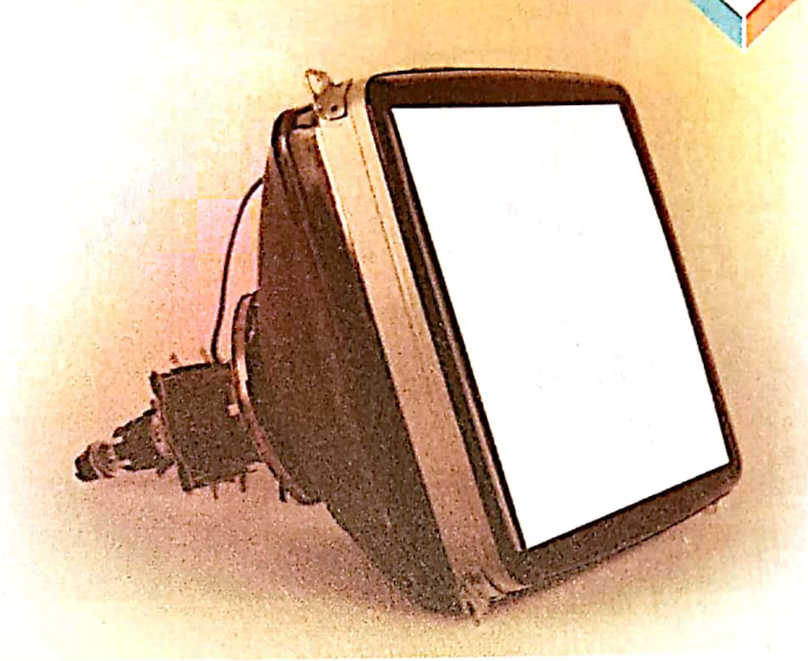
الدرس الأول

- إشعاع الجسم الأسود.
- الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى.

الدرس الثانى

- ظاهرة كومتون.
- الطبيعة الموجية للجسيم.
- المجهر الإلكترونى.

• إشعاع الجسم الأسود
• الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى



* يندرج كل ما درسناه فى الفصول السابقة تحت ما يسمى الفيزياء الكلاسيكية، وهى الفيزياء التى تفسر المشاهدات اليومية والتجارب المعتادة مثل : ميكانيكا نيوتن، ودراسة الحرارة والكهرومغناطيسية والموجات والبصريات.

* فى بداية القرن العشرين أفضت العديد من التجارب الحديثة إلى نتائج لا تخضع لتفسيرات قوانين الفيزياء الكلاسيكية، مثل :
  - الظواهر الإلكترونية التى هى أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة.
  - دراسة الأطياف الذرية.
  - التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزىء والتى تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل للكيمياء عام ١٩٩٩م

* خلال تفسير هذه المشاهدات نشأ فرع جديد يطلق عليه فيزياء الكم، وهو فرع يتعامل مع الظواهر العلمية على المستوى الذرى أو دون الذرى التى قد لا نراها فى حياتنا اليومية بصورة مباشرة ولكن ندرك أثرها.

* **مما سبق يمكن تعريف كل من الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكم كالتالى :**

الفيزياء الكلاسيكية

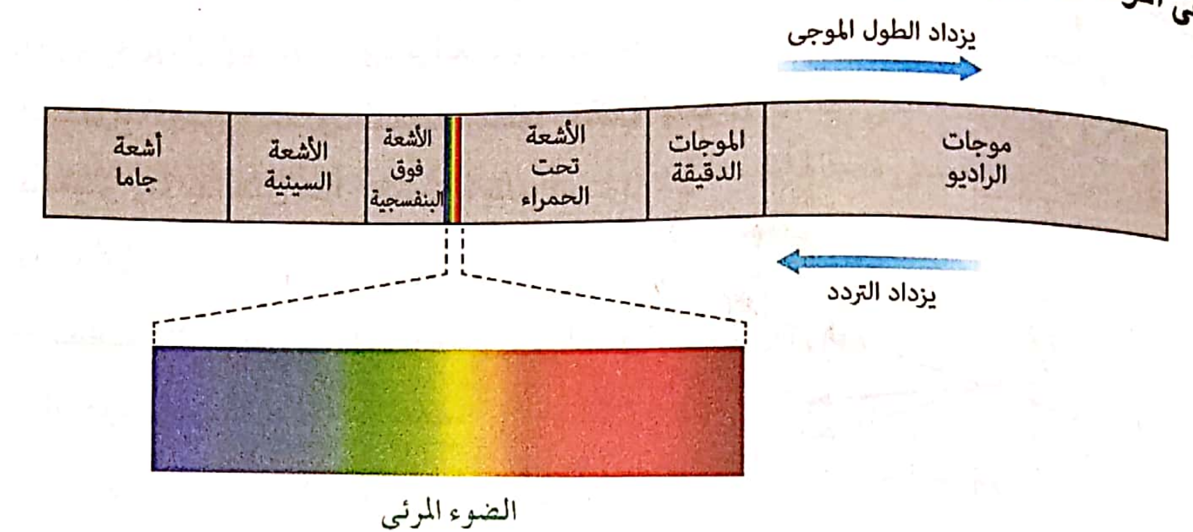
الفيزياء التى تمكننا من تفسير مشاهداتنا اليومية والتجارب المعتادة مثل دراستنا للحرارة والكهرباء والموجات كالصوت والضوء ودراسة خصائصها.

فيزياء الكم

الفيزياء التى تمكننا من دراسة وتفسير ظواهر لا نراها بصورة مباشرة خاصةً عند التعامل على المستوى الذرى مثل دراسة الأطياف الذرية والظواهر الإلكترونية أو على مستوى الجزىء مثل دراسة التفاعلات الكيميائية.



* تصور علماء الفيزياء الكلاسيكية الضوء على أنه موجات كهرومغناطيسية تختلف فى التردد والطول الموجى كما بالشكل :



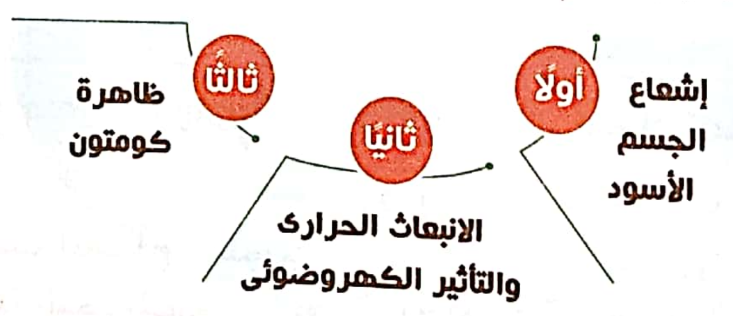
الضوء المرئى

* نلاحظ من الشكل السابق أن الطيف الكهرومغناطيسى يتضمن الضوء المرئى كأحد مكوناته.

خصائص الطيف الكهرومغناطيسى

1. الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.
2. لا يحتاج وسط مادى لانتشاره.
3. ينتشر فى الفراغ بسرعة ثابتة قدرها 3×10^8 m/s

* سندرس فى هذا الفصل بعض الظواهر التى لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسيرها ولكن تم تفسيرها عن طريق فيزياء الكم، ومنها :



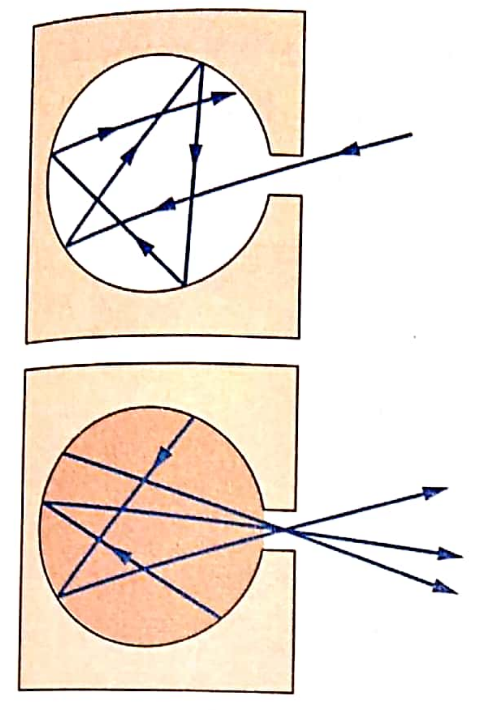
أولًا إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation

* معظم الأجسام تعكس جزء من الإشعاع الساقط عليها وتمتص جزء ثم تعيد إشعاع جزء من الإشعاع الممتص إلى الوسط المحيط بها، ولكن هناك نظام (جسم) مثالى يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة **(ممتص مثالى)** ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى **(باعث مثالى)** يطلق عليه الجسم الأسود، وهو جسم غير موجود فى الطبيعة.



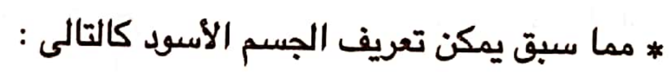
* تتمثل المشكلة الرئيسية فى دراسة إشعاع الجسم الأسود فى تفسير توزيع الأطوال الموجية لهذا الإشعاع، وقام العلماء بتشبيه إشعاع الجسم الأسود بتجويف مغلق به ثقب صغير وما بداخل هذا التجويف يبدو أسود وذلك لأن :

- معظم الإشعاع يظل محصورًا بداخل التجويف من كثرة الانعكاسات.
- لا يخرج من هذا الإشعاع إلا جزء صغير.

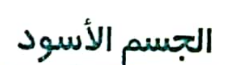


تصور للجسم الأسود

* مما سبق يمكن تعريف الجسم الأسود كالتالى :



الجسم الأسود



جسم يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة (ممتص مثالى) ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى (باعث مثالى).

الأجسام المتوهجة والأجسام غير المتوهجة



* تنقسم الأجسام المشعة إلى :

أجسام تصدر ضوء وحرارة	أجسام تصدر حــرارة
مثــل	
الشمس ، فتيلة المصباح ، النجوم ، قطعة الفحم المتقدة	الأرض
ويطلـق عليهـا	
الأجسام المتوهجة أجسام يصدر منها إشعاع ضوئى وإشعاع حرارى.	**الأجسام غير المتوهجة** أجسام يكون غالبية الإشعاع الصادر منها إشعاع حرارى.



* وقد لاحظ العلماء أن الإشعاع المنبعث من الجسم المتوهج يختلف باختلاف درجة حرارة الجسم،

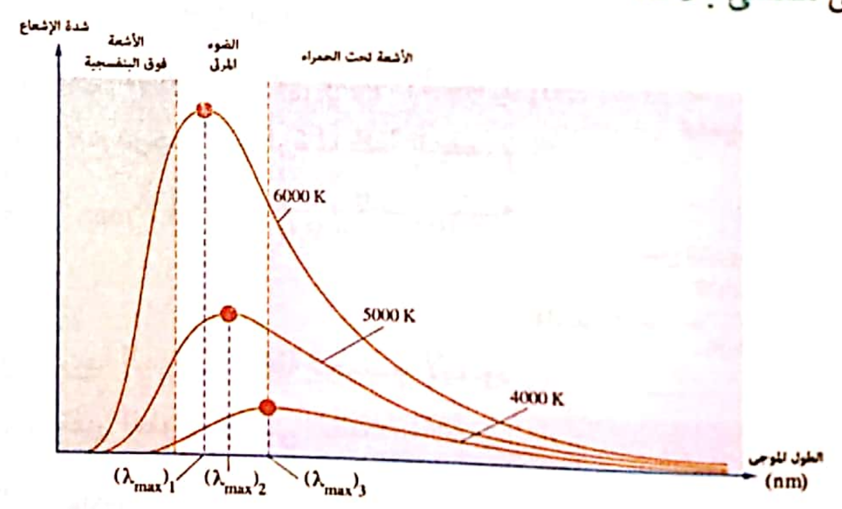
لأن الأجسام المتوهجة لا تشع كل الأطوال الموجية بنفس الشدة ولكن تختلف شدة الإشعاع (المعدل الزمنى للطاقة التى يشعها الجسم لوحدة المساحة) مع الطول الموجى، والطول الموجى الذى يكون عنده أقصى شدة إشعاع يتوقف على درجة حرارة المصدر لذلك يتغير اللون الغالب على الضوء الصادر من الجسم.

منحنى بلانك Planck's Distribution

* قام العالم بلانك بتفسير العلاقة بين شدة الإشعاع الصادر من الجسم المشع والطول الموجى للطيف المنبعث عند درجة حرارة معينة من خلال دراسة الإشعاعات الصادرة من مصادر مختلفة عند درجات حرارة مطلقة مختلفة، ووضع منحنى بيانى يوضح هذه العلاقة يسمى منحنى بلانك.

منحنى بلانك

منحنى يوضح العلاقة البيانية بين شدة الإشعاع الصادر من الجسم المشع والطول الموجى للطيف المنبعث عند درجة حرارة معينة.



* من الشكل السابق يمكن وصف منحنى بلانك كالتالى :

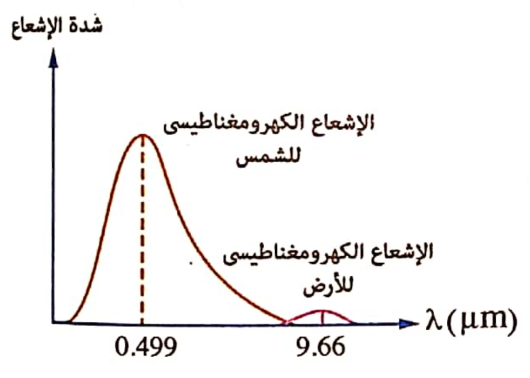
1. عند الأطوال الموجية الطويلة جدًا والقصيرة جدًا تقترب شدة الإشعاع من الصفر.
2. عند قيمة معينة من الطول الموجى (λ_{max}) تكون شدة الإشعاع قيمة عظمى.
3. بزيادة درجة الحرارة تزداد الشدة الكلية للإشعاع ويرتفع مستوى المنحنى (أى تزداد المساحة تحت المنحنى) ويقل الطول الموجى (λ_{max}) الذى يقابل أقصى شدة إشعاع أى تزاح قمة المنحنى جهة أطوال موجية أقصر.
4. يتكرر هذا المنحنى مع كل الأجسام الساخنة التى تشع طيفًا متصلًا.

فمثلًا الإشعاع الصادر من :

الشمس	فتيلة مصباح متوهج	سطح الأرض
	درجة حرارته	
6000 K	3000 K	منخفضة نسبيًا
	الطول الموجى الذى عنده أقصى شدة إشعاع يقع فى منطقة	
الضوء المرئى ($\lambda_{max} \simeq 0.5\ \mu m = 500\ nm$)	الأشعة تحت الحمراء ($\lambda_{max} \simeq 1\ \mu m = 1000\ nm$)	الأشعة تحت الحمراء ($\lambda_{max} \simeq 10\ \mu m = 10000\ nm$)
	نسبة الإشعاع الصادر	
50 % أشعة تحت حمراء 40 % ضوء مرئى 10 % باقى مناطق الطيف	80 % أشعة تحت حمراء 20 % ضوء مرئى	معظمه أشعة تحت حمراء

* من المشاهدات السابقة يتضح أن :

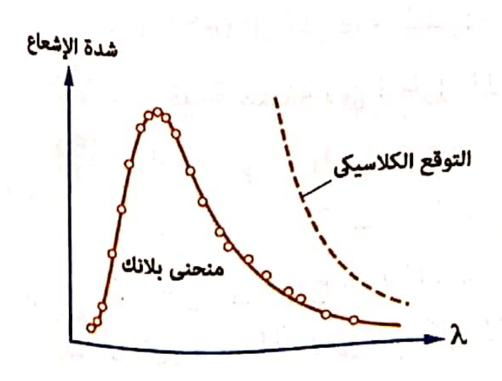
الطول الموجى الذى تصاحبه أقصى شدة إشعاع يتناسب عكسيًا مع درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ($\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$)، وهو ما يطلق عليه **قانون ڤين،**



أى أنه إذا تغيرت درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود من T_1 إلى T_2 يتغير الطول الموجى المصاحب لأقصى شدة إشعاع من $(\lambda_{max})_1$ إلى $(\lambda_{max})_2$، **بحيث يكون :**

$$\frac{(\lambda_{max})_1}{(\lambda_{max})_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

* لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات، **لأنها** تعتبر أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية متصلة وبالتالى فإن شدة الإشعاع تزداد كلما زاد التردد (نقص الطول الموجى) بينما وجد أن شدة الإشعاع تقل عند الترددات العالية (الأطوال الموجية القصيرة) كما بالشكل.





ملحوظة

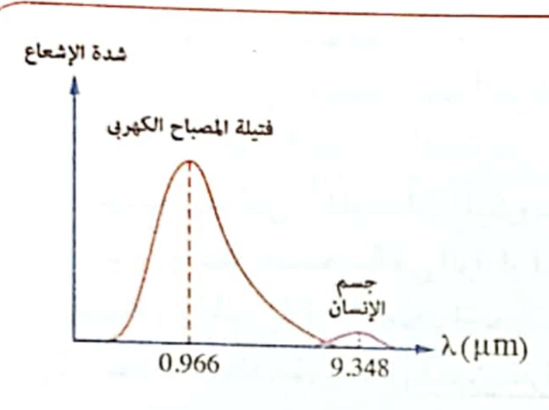
* **يزاح اللون الظاهر للإشعاعات الناتجة عن تسخين جسم حتى يصبح مضيء من الأحمر إلى الأصفر ثم أخيرًا إلى الأزرق كلما زادت درجة الحرارة،**

لأنه طبقًا لقانون ڤين تقل قيمة الطول الموجى المصاحب لأقصى شدة إشعاع بزيادة درجة الحرارة فيتحول اللون الغالب للإشعاع الصادر من الأحمر (طول موجى كبير) إلى الأزرق (طول موجى صغير) تدريجيًا مرورًا باللون الأصفر.



مثال

الشكل البيانى المقابل يوضح تغير شدة الإشعاع المنبعث من جسم الإنسان وفتيلة مصباح كهربى مع الطول الموجى للإشعاع المنبعث، فإذا علمت أن درجة حرارة جسم الإنسان 310 K، **احسب** درجة حرارة فتيلة المصباح الكهربى.



الحل

$T_2 = ?$ | $T_1 = 310\ K$ | $(\lambda_{max})_2 = 0.966\ \mu m$ | $(\lambda_{max})_1 = 9.348\ \mu m$

$$\frac{(\lambda_{max})_1}{(\lambda_{max})_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad , \quad \frac{9.348}{0.966} = \frac{T_2}{310}$$

$$T_2 = 2999.88\ K$$

تفسير بلانك (عام ١٩٠٠م) لإشعاع الجسم الأسود

* **استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض عدة فروض هى :**

١. يتكون الإشعاع من بلايين من وحدات أو دفقات صغيرة من الطاقة تسمى كل منها كوانتم (كم) أو فوتون لا نلاحظها منفصلة ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل، وهذه الخواص هى الخواص الكلاسيكية للموجات.

فوتون

٢. طاقة كل فوتون $E = h\upsilon$، حيث : (h) ثابت بلانك ويساوى $6.625 \times 10^{-34}\ J.s$، ($\upsilon$) التردد.

٣. تصدر الفوتونات نتيجة تذبذب ذرات الجسم المشع.

٤. طاقة الذرات المتذبذبة منفصلة ومكماة وتأخذ مستويات الطاقة قيم $E = nh\upsilon$

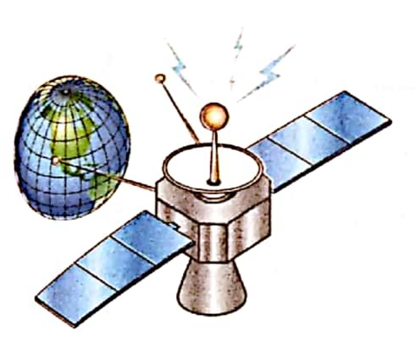
٥ لا يصدر إشعاع من الذرات طالما كانت مستقرة فى مستوى طاقتها الأصلى (المستوى الأرضى).

٦ عند انتقال الذرة المتذبذبة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة يصدر فوتون طاقته $E = h\upsilon$

٧ بزيادة تردد الفوتونات تزداد طاقتها ويقل عددها

أى أن : عند الأطوال الموجية القصيرة جدًا (الترددات العالية جدًا) تقل شدة الإشعاع وتقترب من الصفر.

تطبيقات على الإشعاع الصادر من الأجسام المختلفة



تصوير سطح الأرض

١ تحديد مصادر الثروة الطبيعية حيث يمكن تصوير سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة (الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض - الضوء المرئى - الموجات الميكرومترية «موجات الميكروويف» المستخدمة فى الرادار) عن طريق أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جوًا وأجهزة أرضية.

٢ التطبيقات العسكرية مثل أجهزة الرؤية الليلية لرؤية الأجسام المتحركة فى الظلام واضحة بفعل ما تشعه من إشعاع حرارى.



صورة حرارية

٣ فى الطب خاصةً فى مجال الأورام والأجنة.

٤ اكتشاف الأدلة الجنائية حيث يبقى الإشعاع الحرارى للجسم فترة حتى بعد تركه المكان وتسمى هذه التقنية **الاستشعار عن بُعد**.

ثانيًا الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى Thermal Emission and Photoelectric Effect

* يحتوى أى معدن على أيونات موجبة وإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخله ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التى تجذبها دائمًا للداخل، وتسمى هذه القوى **حاجز جهد السطح**.

حاجز جهد السطح

قوى التجاذب التى تجذب الإلكترونات نحو الداخل وتمنع تحررها من سطح المعدن.

* إذا اكتسبت هذه الإلكترونات طاقة حرارية أو ضوئية يمكن أن تتحرر من المعدن بشرط أن تكون هذه الطاقة كافية للتغلب على حاجز جهد السطح وهذه هى فكرة عمل :

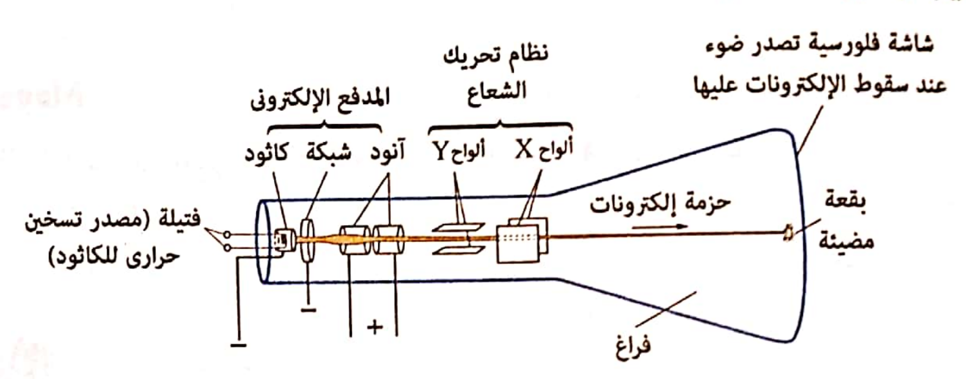
١ أنبوبة شعاع الكاثود.
٢ الخلية الكهروضوئية.





١ انبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube

- **الاستخدام :** شاشة التليفزيون والكمبيوتر.
- **الأساس العلمى :** انطلاق إلكترونات من سطح معدن عند تسخينه (الانبعاث الحرارى أو الظاهرة الكهروحرارية).
- **التركيب وطريقة العمل :**



١. سطح معدنى يسمى المهبط أو الكاثود يتم تسخينه بواسطة فتيلة تسخين فتنطلق بعض الإلكترونات من الكاثود بفعل الحرارة متغلبة على حاجز جهد سطح معدن الكاثود.

٢. شبكة يتم بواسطتها التحكم فى شدة الشعاع الإلكترونى حسب شدة الإشارة الكهربية المرسلة.

٣. مصعد مجوف (أنود) مواجه للمهبط ويوجد بين المهبط والمصعد فرق جهد مستمر يعمل على تعجيل الإلكترونات.

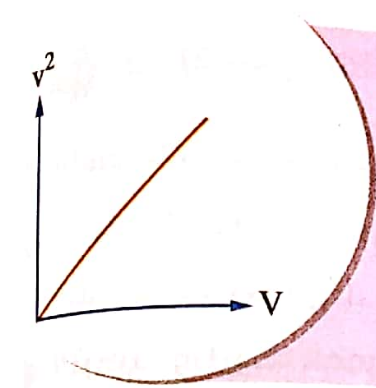
٤. شاشة فلورسية متصلة بقطب موجب (المصعد أو الآنود) تلتقط الإلكترونات المنبعثة من الكاثود مما يسبب تيارًا فى الدائرة الخارجية.

٥. مجالات كهربية أو مغناطيسية (الألواح X ، Y) تعمل على توجيه مسار حزمة الإلكترونات،
لمسح الشاشة نقطة بنقطة حتى تكتمل الصورة.

٦. تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة محدثة ضوءًا تختلف شدته من نقطة لأخرى حسب شدة الإشارة الكهربية المرسلة (شدة الشعاع الإلكترونى) التى يمكن التحكم فيها بواسطة الشبكة التى تعترض طريق هذه الإلكترونات.

٧. أقصى طاقة حركة للإلكترون $(KE)_{max}$ تتعين من العلاقة : $(KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$

حيث : (m_e) كتلة الإلكترون ، (v) أقصى سرعة للإلكترون ، (e) شحنة الإلكترون ، (V) فرق الجهد بين الكاثود والآنود.



* تبعًا للعلاقة ($\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$) تكون العلاقة البيانية بين مربع أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من المهبط (v^2) وفرق الجهد بين المصعد والمهبط (V) كما بالشكل :

$$slope = \frac{\Delta v^2}{\Delta V} = \frac{2\,e}{m_e}$$



ملحوظة

* الطاقة بوحدة الجول = الطاقة بوحدة الإلكترون ڤولت × شحنة الإلكترون

أى أن : $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$



مثال

أنبوبة شعاع الكاثود تعمل على فرق جهد 10 kV، **أوجد** أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من الكاثود (علمًا بأن : $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$, $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$).

الحل

$v = ?$	$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$	$m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$	$V = 10^4\ V$

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$$

$$v = \sqrt{\frac{2\,eV}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^4}{9.1 \times 10^{-31}}} = \mathbf{5.93 \times 10^7\ m/s}$$

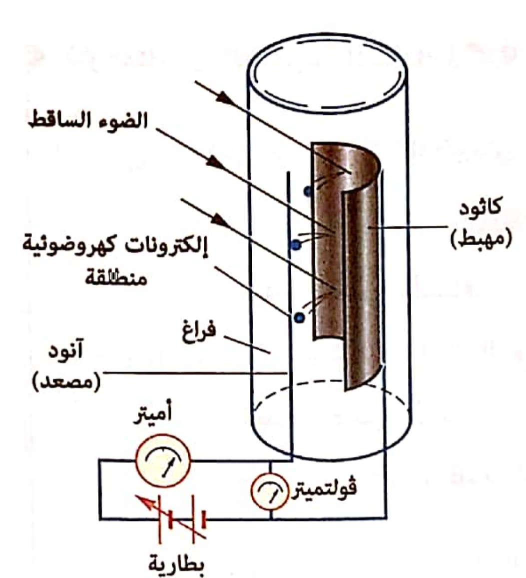
٢ الخلية الكهروضوئية

الاستخدام : تستخدم فى فتح وغلق الأبواب آليًا.

الأساس العلمى (فكرة العمل) : انطلاق إلكترونات من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه (التأثير الكهروضوئى).

التركيب وطريقة العمل : تتكون الخلية الكهروضوئية من أنبوبة من مادة شفافة للضوء مفرغة من الهواء تحتوى على :





1. كاثود وهو عبارة عن سطح معدنى مقعر تنبعث منه إلكترونات عندما يسقط عليه ضوء.
2. آنود وهو عبارة عن سلك رفيع حتى لا يحجب الضوء الساقط على الكاثود ويلتقط الإلكترونات المنبعثة من الكاثود مما يسبب تياراً فى الدائرة الخارجية.

التصور الكلاسيكى :

- تنطلق الإلكترونات والتى تسمى الإلكترونات الكهروضوئية وتزداد طاقة حركتها عند جميع الترددات بزيادة شدة الضوء الساقطة.
- إذا لم تكن شدة الضوء الساقط كافية فإنه يمكن بزيادة زمن سقوط ذلك الضوء أن تتراكم الطاقة وتتحرر الإلكترونات بعد فترة كافية من السقوط.

المشاهدات العملية :

1. يتوقف انطلاق الإلكترونات الكهروضوئية على تردد الموجة الساقطة وليس على شدتها، إذ لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من أو يساوى قيمة معينة تسمى التردد الحرج (υ_c) مهما كانت الشدة.
2. إذا كان تردد الموجة الساقطة يساوى أو أكبر من التردد الحرج (υ_c) فإن شدة التيار الكهروضوئى تزداد بزيادة شدة الضوء الساقط،

الإلكترونات الكهروضوئية

الإلكترونات المنبعثة من أسطح المعادن عندما يسقط عليها ضوء ذو تردد أكبر من أو يساوى التردد الحرج.

التردد الحرج لسطح (υ_c)

أقل تردد للضوء الساقط يكفى لتحرير إلكترون من سطح معدن دون إكسابه طاقة حركة.

لزيادة عدد الفوتونات الساقطة على وحدة المساحات من السطح فى وحدة الزمن وبالتالى يزداد عدد الإلكترونات التى تتحرر من السطح فتزداد شدة التيار الكهروضوئى.

3. تتوقف السرعة وطاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنطلقة على نوع مادة السطح وتردد الضوء الساقط وليس شدته، وبالتالى عند زيادة تردد الضوء الساقط مع ثبات شدته تزداد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة أما عدد الإلكترونات يظل ثابت لأن عدد فوتونات الضوء الساقط ثابت فتظل شدة التيار الكهروضوئى ثابتة.
4. انطلاق الإلكترونات يحدث لحظياً ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات حتى إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة بشرط أن يكون تردد الضوء الساقط أكبر من التردد الحرج.



لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات العملية حيث إنه :

فى التصور الكلاسيكى	فى التجربة العملية
يعتمد انبعاث الإلكترونات على	
شدة الضوء الساقط	تردد الضوء الساقط
تعتمد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة على	
شدة الضوء الساقط	تردد الضوء الساقط
إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة فإن انبعاث الإلكترونات	
يحتاج لفترة تعرض أطول للضوء	يحدث لحظيًا عندما يكون تردد الضوء الساقط يساوى أو أكبر من التردد الحرج

تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية

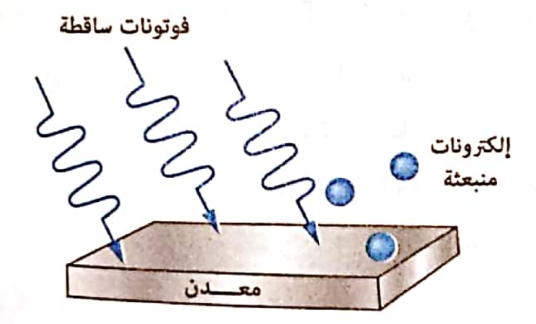
* تمكن أينشتين من تفسير المشاهدات العملية للظاهرة الكهروضوئية وفاز عام ١٩٢١م بجائزة نوبل فى الفيزياء عن هذا التفسير وقد اعتمد فى تفسيره على أن :

– الإشعاع يتكون من وحدات صغيرة من الطاقة تسمى كل منها كوانتم أو فوتون (فرض بلانك).

– تحرر إلكترون من سطح معدن يلزمه طاقة محددة تسمى دالة الشغل للسطح (E_w) وتتعين من العلاقة :

$$E_w = h\upsilon_c = \frac{hc}{\lambda_c}$$

حيث : (λ_c) الطول الموجى الحرج.



دالة الشغل لسطح (E_w)

الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون من سطح معدن دون إكسابه طاقة حركة.

الطول الموجى الحرج (λ_c)

أكبر طول موجى للضوء الساقط على سطح معدن يكفى لتحرير الإلكترونات منه دون إكسابها طاقة حركة.



- إذا كانت طاقة الفوتون الساقط :

أقل من دالة شغل السطح $(E < E_W)$	تساوى دالة شغل السطح $(E = E_W)$	أكبر من دالة شغل السطح $(E > E_W)$
	يكون تردد الفوتون الساقط على سطح المعدن	
أقل من التردد الحرج $(\upsilon < \upsilon_c)$	يساوى التردد الحرج $(\upsilon = \upsilon_c)$	أكبر من التردد الحرج $(\upsilon > \upsilon_c)$
	وبالتــالى	
لا يستطيع الفوتون تحرير أى إلكترون من إلكترونات السطح مهما زادت شدة الضوء الساقط أو فترة تسليطه على السطح	يستطيع الفوتون بالكاد تحرير إلكترون من سطح المعدن دون إكسابه طاقة حركة	يستطيع الفوتون تحرير إلكترون من سطح المعدن ويظهر فرق الطاقة على شكل طاقة حركة يكتسبها الإلكترون

• مما سبق يمكن تعريف الظاهرة الكهروضوئية كالتالى :

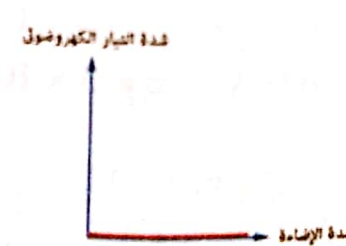
الظاهرة الكهروضونية

ظاهرة انبعاث إلكترونات من سطح معدن عندما يسقط عليه ضــوء ذو تردد يساوى أو أكبر من التردد الحرج.

العلاقة بين شدة التيار الكهروضوئى وشدة الإضاءة

• إذا كان تـردد الفوتـون (الضـوء) السـاقط أقـل مـن التـردد الحـرج للسـطح لا يمـر تيار كهروضوئى مهما زادت شـدة الإضاءة أو زمن سقوط الضوء.

$\upsilon < \upsilon_c$



* إذا كان تـردد الفوتـون (الضـوء) السـاقط أكبـر من التردد الحرج للسـطح تزداد شـدة التيـار الكهروضوئـى بزيادة شـدة الإضاءة (زيادة عدد الفوتونات).

$\upsilon > \upsilon_c$



العلاقة بين طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز وتردد الضوء الساقط

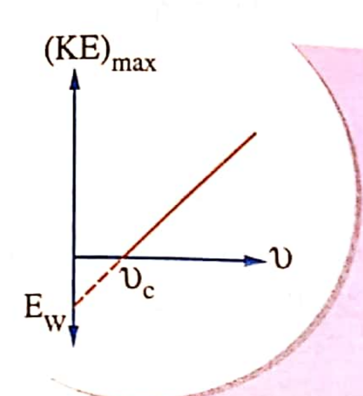
∵ طاقة الفوتون الساقط = دالة الشغل للسطح + طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة.

$$\therefore E = E_w + (KE)_{max}$$

$$\therefore h\upsilon = h\upsilon_c + \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_c} + \frac{1}{2} m_e v^2$$

(معادلة أينشتين للظاهرة الكهروضوئية)



* التمثيل البيانى للعلاقة بين طاقة الحركة العظمى $(KE)_{max}$ للإلكترونات وتردد الضوء الساقط (υ) :

$$slope = \frac{\Delta (KE)_{max}}{\Delta \upsilon} = h$$

ملاحظات

* تتوقف دالة الشغل لسطح معدن على نوع مادة السطح فقط ولا تتوقف على شدة الضوء الساقط أو زمن التعرض له أو فرق الجهد بين المصعد والمهبط.

* الإلكترون الأكثر ارتباطًا يحتاج إلى طاقة أكبر بكثير من دالة الشغل لتحرره بعكس إلكترون السطح الذى يحتاج طاقة تساوى دالة الشغل ليتحرر.

مثال ١

احسب دالة الشغل لفلز الطول الموجى الحرج له 2700 Å

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

الحل

$E_w = ?$ | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $c = 3 \times 10^8$ m/s | $\lambda_c = 2700$ Å

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_c} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2700 \times 10^{-10}} = \mathbf{7.36 \times 10^{-19}\ J}$$



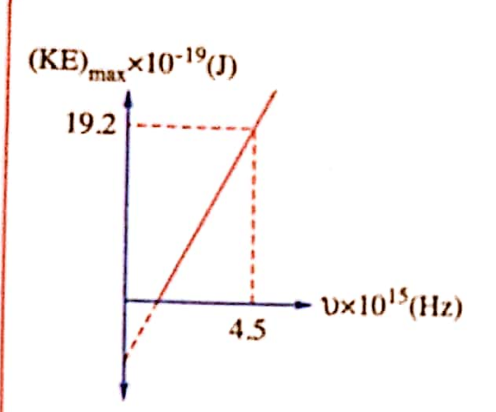
مثال ٢

الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين طاقة الحركة العظمى $(KE)_{max}$ للإلكترونات المنبعثة من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه وتردد هذا الضوء (υ). **احسب :**

(أ) دالة الشغل لسطح المعدن.

(ب) التردد الحرج لسطح المعدن.

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)



الحل

$\upsilon_1 = 4.5 \times 10^{15}$ Hz | $(KE_{max})_1 = 19.2 \times 10^{-19}$ J

$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $E_w = ?$ | $\upsilon_c = ?$

(أ)

$$E_w = h\upsilon_1 - (KE_{max})_1$$

$$= (6.625 \times 10^{-34} \times 4.5 \times 10^{15}) - (19.2 \times 10^{-19})$$

$$= \mathbf{1.06 \times 10^{-18}\ J}$$

(ب)

$$E_w = h\upsilon_c$$

$$\upsilon_c = \frac{E_w}{h} = \frac{1.06 \times 10^{-18}}{6.625 \times 10^{-34}} = \mathbf{1.6 \times 10^{15}\ Hz}$$

مثال ٣

سقط ضوء طوله الموجى 1000 Å على سطح فلز فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة 11.28 eV ، ثم سقط على سطح الفلز ضوء أخر طوله الموجى 3000 Å فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة 3 eV. **احسب :**

(أ) قيمة ثابت بلانك (h).

(ب) دالة الشغل لسطح الفلز.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^{8}$ m/s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحل

$\lambda_1 = 1000\ \mathring{A}$	$(KE_{max})_1 = 11.28\ eV$	$\lambda_2 = 3000\ \mathring{A}$	$(KE_{max})_2 = 3\ eV$
$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$	$c = 3 \times 10^8\ m/s$	$h = ?$	$E_w = ?$

(أ)

$$E_w = \frac{hc}{\lambda} - (KE)_{max}$$

$$\therefore \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{max})_1 = \frac{hc}{\lambda_2} - (KE_{max})_2$$

$$hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = (KE_{max})_1 - (KE_{max})_2$$

$$h \times 3 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{1000 \times 10^{-10}} - \frac{1}{3000 \times 10^{-10}}\right) = (11.28 - 3) \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$2 \times 10^{15}\ h = 1.325 \times 10^{-18}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34}\ J.s$$

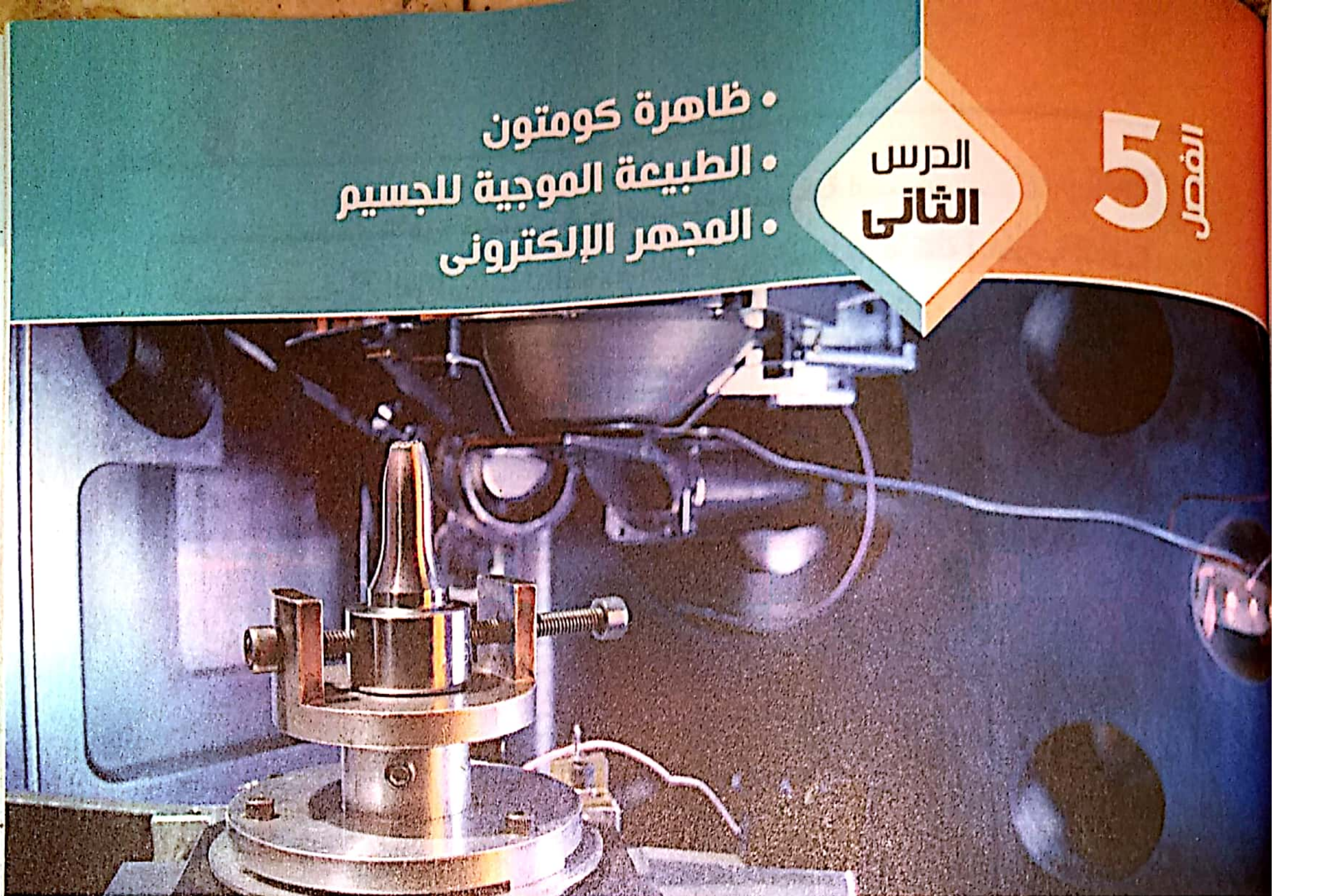
(ب)

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{max})_1$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1000 \times 10^{-10}} - (11.28 \times 1.6 \times 10^{-19})$$

$$= 1.83 \times 10^{-19}\ J$$





ثالثًا ظاهرة كومتون Compton Effect

* عند سقوط فوتون له طاقة عالية (مثل فوتون أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر :
- يقل تردد الفوتون ويغير اتجاهه.
- تزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه.

وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة كومتون.

$E = h\upsilon$ ، $P_L = E/c$ فوتون ساقط

$\grave{E} = h\grave{\upsilon}$ ، $\grave{P}_L = \grave{E}/c$ فوتون مشتت

إلكترون ، ϕ ، θ ، x ، y

$(P_L)_e = m_e v$ إلكترون مشتت

* لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير ظاهرة كومتون ولكن تم تفسيرها من خلال فرض بلانك بأن الإشعاع الكهرومغناطيسى مكون من فوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات وأثبت كومتون أن التصادم تصادم مرن حيث يكون :
- مجموع كميتى تحرك الفوتون والإلكترون قبل التصادم مباشرةً = مجموع كميتى تحرك الفوتون والإلكترون بعد التصادم مباشرةً **(قانون بقاء كمية التحرك)**.
- مجموع طاقتى الفوتون والإلكترون قبل التصادم مباشرةً = مجموع طاقتى الفوتون والإلكترون بعد التصادم مباشرةً **(قانون بقاء الطاقة)**.

أى أن : الإلكترون يكتسب جزء من طاقة الفوتون الساقط فتزداد سرعة الإلكترون ويتشتت ويقل تردد الفوتون نتيجة نقص طاقته.

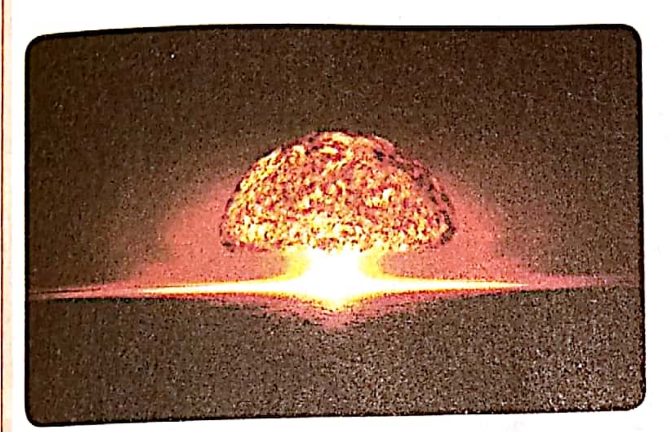
* مما سبق نجد أن ظاهرة كومتون تثبت الخاصية الجسيمية للضوء،

لأنها توضح أن الفوتون يتصادم مع الإلكترون كجسيم له كتلة وسرعة (كمية حركة) مثل الإلكترون.

ملحوظة

* **يرتبط تحول الكتلة (m) إلى طاقة (E) بعلاقة أينشتين ($E = mc^2$) والتى تعتبر أساس عمل القنبلة الذرية، حيث وجد أن انشطار النواة ينتج كمية هائلة من الطاقة،**

لأن انشطار النواة يصحبه نقص فى الكتلة يتحول إلى طاقة تبعًا لعلاقة أينشتين، وقد وجد أن النقص فى الكتلة صغير جدًا ولكنه يتحول إلى طاقة هائلة لأنه مضروب فى مقدار كبير جدًا هو مربع سرعة الضوء ($c^2 = 9 \times 10^{16}\ m^2/s^2$).



القنبلة الذرية

خواص الفوتون

١ كمّ من الطاقة مركز فى حيز صغير جدًا وتحسب طاقته من العلاقة :

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

٢ يتحرك بسرعة الضوء.

٣ له كتلة أثناء حركته تكافئ m :

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

٤ الفوتون ليس له كتلة سكون بل تتحول كتلته بالكامل إلى طاقة ($E = mc^2$) يكتسبها الجسم الذى أوقف حركته.

٥ له كمية حركة :

$$P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

٦ له خاصية جسيمية وخاصية موجية ويتحقق فيه قانونا بقاء الكتلة والطاقة.



مثـال

احسب الكتلة المكافئة للفوتون وكمية حركته إذا كان طوله الموجى 380 nm

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

الحـل

$c = 3 \times 10^8$ m/s | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $\lambda = 380 \times 10^{-9}$ m

$P_L = ?$ | $m = ?$

$$\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{380 \times 10^{-9}} = 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 7.89 \times 10^{14}}{(3 \times 10^8)^2} = \mathbf{5.81 \times 10^{-36} \text{ kg}}$$

$$P_L = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{380 \times 10^{-9}} = \mathbf{1.74 \times 10^{-27} \text{ kg.m/s}}$$

استنتاج القوة التى تؤثر بها حزمة من الفوتونات على سطح عاكس

* عند سقوط شعاع ضوئى تردده υ على سطح ما ثم انعكاسه فإن :

- كمية حركة الفوتون الساقط = mc
- كمية حركة الفوتون المنعكس = − mc
- مقدار التغير فى كمية حركة الفوتون نتيجة انعكاسه : $\Delta P_L = 2\,mc = \frac{2\,h\upsilon}{c}$

* بفرض أن (ϕ_L) مـعدل سقوط الفوتونات على السطح ويتعين من العلاقة ($\phi_L = \frac{N}{t}$) وتقـاس بوحدة photon/s، فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه يعانى تغير فى كمية الحركة

فيكون مـعدل التغير فى كمية حركة شعاع الفوتونات :

$$\frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2\,mc\phi_L = 2\,\frac{h\upsilon}{c}\,\phi_L$$

وتبعًا لقانون نيوتن الثانى تكون القوة المؤثرة من شعاع الفوتونات على السطح (F) :

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2\,\frac{h\upsilon}{c}\,\phi_L$$

تتعين القدرة الضوئية (P_w) الساقطة على السطح من العلاقة :

$$P_w = h\upsilon\phi_L$$

$$\therefore \quad \mathbf{F = 2\,\frac{P_w}{c}}$$

مثال

شعاع قدرته 1 W يسقط على سطح حائط بمعدل 10^{14} photon/s،
احسب القوة التى يؤثر بها الشعاع على سطح الحائط، ثم احسب تردده.
(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

الحل

$P_w = 1$ W	$\phi_L = 10^{14}$ photon/s	$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s
$c = 3 \times 10^8$ m/s	$F = ?$	$\upsilon = ?$

$$F = \frac{2P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

* هذه القوة صغيرة جدًا فلا يظهر تأثيرها على سطح الحائط.

$$\upsilon = \frac{P_w}{h\phi_L} = \frac{1}{6.625 \times 10^{-34} \times 10^{14}} = 1.51 \times 10^{19}\ \text{Hz}$$

العلاقة بين الطول الموجى للفوتون وكمية الحركة الخطية له

$$\lambda = \frac{c}{\upsilon}$$

بضرب البسط والمقام فى ثابت بلانك (h) :

$$\because P_L = \frac{h\upsilon}{c}$$

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{h\upsilon} = \frac{h}{h\upsilon/c}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{P_L}$$

أى أن : الطول الموجى للفوتون يساوى النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الفوتون.

الطبيعة المزدوجة للفوتونات

* ظاهرة إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومتون من الدلائل على أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات، كما أن هناك ظواهر أخرى مثل التداخل والحيود تبين أن الضوء يسلك سلوك الموجات،

فأى منهما الصحيح : السلوك الجسيمى أم السلوك الموجى ؟

* يعتمد سلوك الضوء على الظاهرة قيد الدراسة حيث إن بعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الموجات أى أن الضوء يُظهر صفة موجية، وبعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الجسيمات أى أن الضوء يُظهر صفة جسيمية،

وعلى هذا الأساس فإن النظرة الحديثة لطبيعة الضوء تأخذ السلوك الثنائى أو المزدوج للضوء
أى أن : طاقة الإشعاع تنتقل على هيئة فوتونات يصحب حركتها موجة.

النموذج الماكروسكوبى والنموذج الميكروسكوبى للضوء

* إذا سقطت فوتونات على سطح ما وكان الطول الموجى للفوتونات (λ) :

أكبر بكثير من المسافات البينية	مقارب للمسافات البينية
فإن	
الفوتونات تعامل هذا السطح كسطح متصل وتنعكس عنه	الفوتونات تنفذ من خلال المسافات البينية، وهذا ما يحدث فى حالة أشعة X
أى أن للضوء طبيعة	
موجية	جسيمية
وبالتالى يتم تفسير سلوك الضوء بواسطة	
النموذج الموجى للضوء (الماكروسكوبى)	النموذج الجسيمى للضوء (الميكروسكوبى)

أى أن : النموذجين الماكروسكوبى والميكروسكوبى مرتبطان ببعضهما البعض، وبالتالى فإن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان، المهم أن نفهم كيف نطبق كل منهما فى مكانه.

* من هنا يمكن التفريق بين النموذج الماكروسكوبى والنموذج الميكروسكوبى للضوء كالتالى :

النموذج الموجى للضوء (الماكروسكوبى)	النموذج الجسيمى للضوء (الميكروسكوبى)
– يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق أبعاده أكبر بكثير من الطول الموجى للضوء.	– يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق فى حجم الذرة أو الإلكترون.
– يدرس الفوتونات كحزمة بما لها من مجال مغناطيسى وكهربى متعامدان على بعضهما وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات.	– يدرس الفوتون منفردًا ويتصوره كرة نصف قطرها يساوى الطول الموجى للموجة (λ) وتتذبذب بمعدل (υ).

الطبيعة الموجية للجسيم

* نظرًا للتماثل الموجود فى الكون افترض دى برولى أنه مثلما للموجات طبيعة جسيمية، فإن للجسيم طبيعة موجية، حيث يصاحب الجسيم أثناء حركته موجة طولها الموجى يحسب من العلاقة :

$$\lambda = \frac{h}{P_L} = \frac{h}{mv}$$

معادلة دى برولى للجسيمات

الطول الموجى لموجة مصاحبة لجسيم متحرك يساوى النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الجسيم.

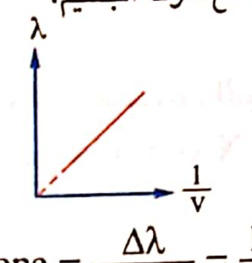
العوامل التى يتوقف عليها الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك

$$\lambda = \frac{h}{P_L} = \frac{h}{mv}$$



١ سرعة الجسيم :

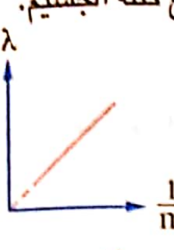
يتناسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسبًا **عكسيًا** مع سرعة الجسيم.



$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta(\frac{1}{v})} = \frac{h}{m}$$

٢ كتلة الجسيم :

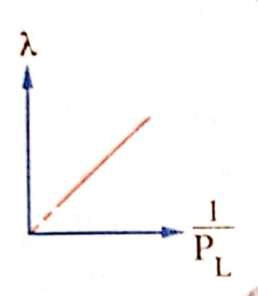
يتناسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسبًا **عكسيًا** مع كتلة الجسيم.



$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta(\frac{1}{m})} = \frac{h}{v}$$

* العلاقة البيانية بين الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك ومقلوب كمية تحرك الجسيم :

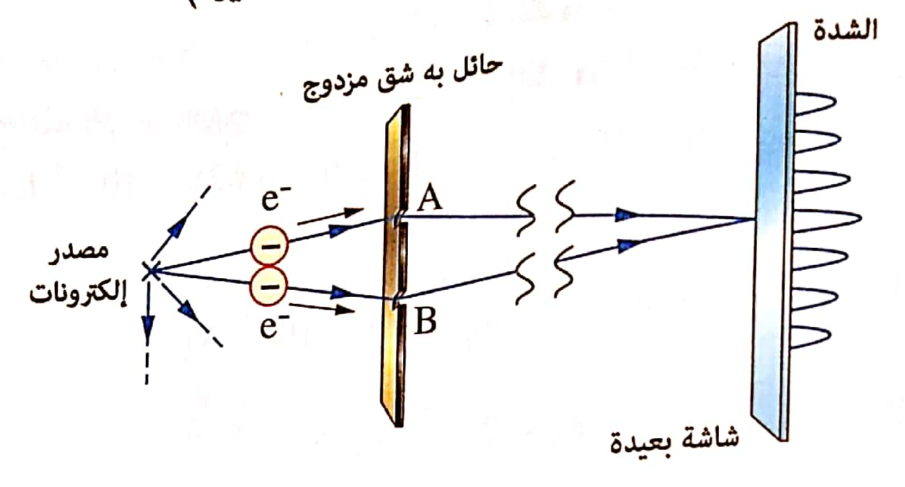
$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta(\frac{1}{P_L})} = h$$



* **وبالتالى فإننا ننظر إلى الطبيعة الموجية لكل من الضوء والإلكترونات كما يلى :**

الطبيعة الموجية للضوء	الطبيعة الموجية للإلكترونات
– الضوء هو مجموعة هائلة من الفوتونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيود. – الفوتون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للموجة (نفس خصائص مجموعة الفوتونات) من حيث التردد والسرعة والطول الموجى.	– شعاع الإلكترونات هو مجموعة هائلة من الإلكترونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى. – الإلكترون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للكل (نفس خصائص مجموعة الإلكترونات) من حيث الكتلة والشحنة والدوران حول نفسه (اللف المغزلى) وكمية الحركة. – يكون للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون تردد وسرعة وطول موجى وخصائص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

* الشكل التالى يوضح الطبيعة الموجية للإلكترون (خاصية الحيود) :



حيود الإلكترونات فى شق مزدوج

* مما سبق يمكن المقارنة بين الإلكترون والفوتون كالتالى :

	الإلكترون	الفوتون
الطبيعة	جسيم مادى شحنته سالبة وله طبيعة موجية	كمّ من الطاقة ($h\upsilon$) غير مشحون وله طبيعة موجية وجسيمية
التعجيل (زيادة سرعته)	يمكن تعجيله بالمجال الكهربى	لا يمكن تعجيله وسرعته ثابتة فى الفراغ (3×10^8 m/s)
كمية التحرك	له كمية تحرك $P_L = \frac{h}{\lambda} = mv$	له كمية تحرك $P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$
الكتلة	* له كتلة سكون ثابتة ($m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)	* له كتلة أثناء حركته فقط تكافئ m $\left(m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}\right)$ * إذا توقف عن الحركة تتلاشى كتلته وتتحول إلى طاقة ($E = mc^2$).



مثال

احسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة كرة كتلتها 140 kg تتحرك بسرعة 40 m/s، **ثم احسب** الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة إلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.
(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

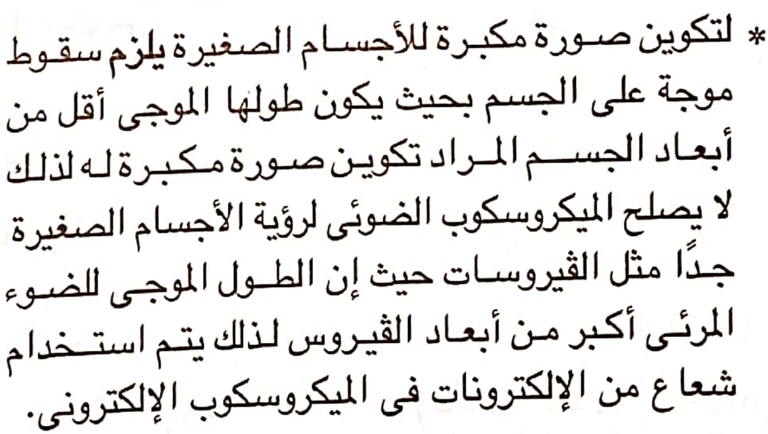
$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$v = 40$ m/s	$m_b = 140$ kg
$\lambda_e = ?$	$\lambda_b = ?$	$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s

$$\lambda_b = \frac{h}{m_b v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{140 \times 40} = \mathbf{1.18 \times 10^{-37}\ m}$$

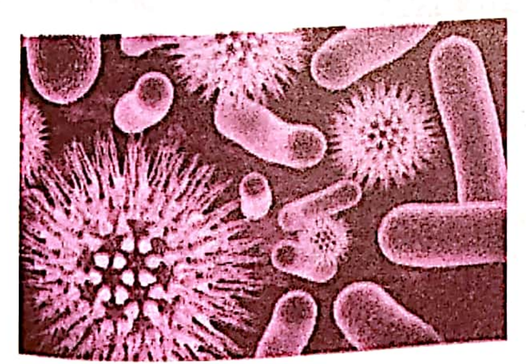
$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 40} = \mathbf{1.82 \times 10^{-5}\ m}$$

* مما سبق يتضح أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما يستخدم شعاع الضوء، وهذا هو أساس عمل الميكروسكوب الإلكترونى.

المجهر (الميكروسكوب) الإلكترونى



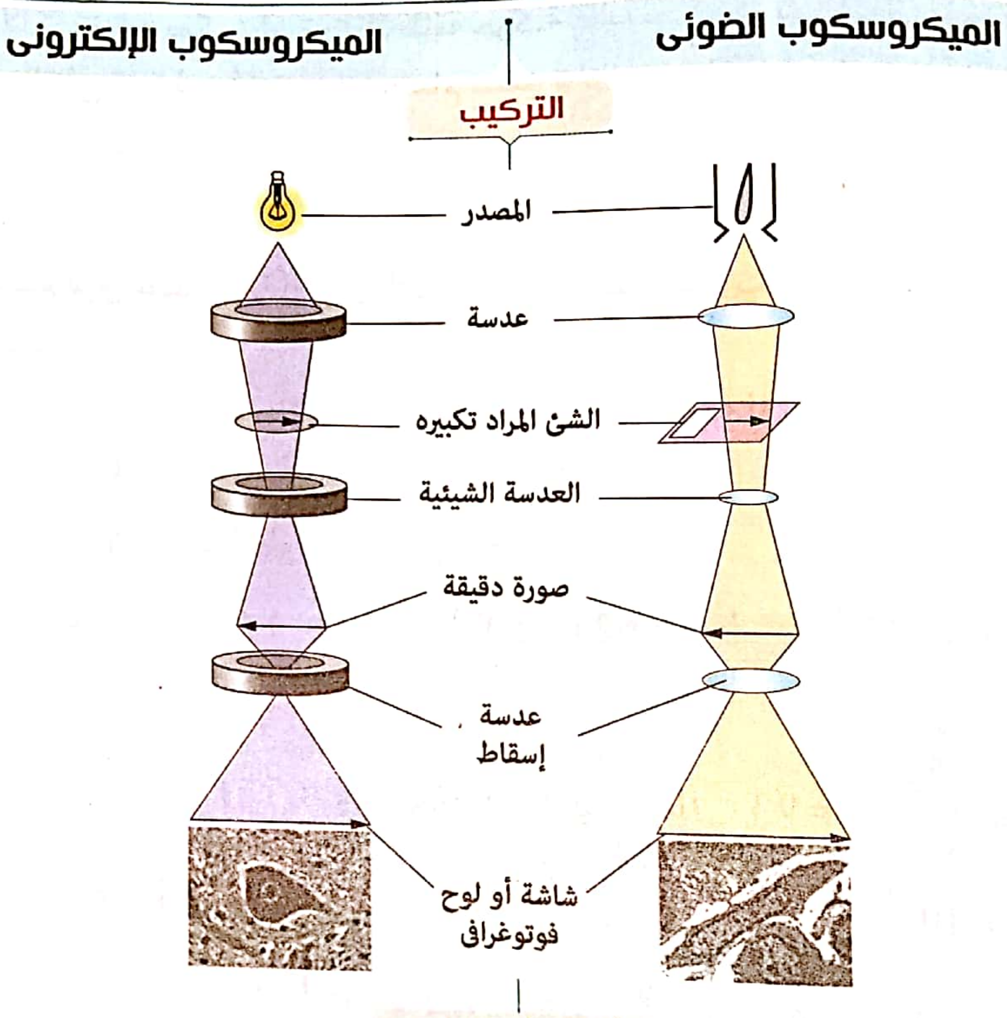
* لتكوين صورة مكبرة للأجسام الصغيرة **يلزم** سقوط موجة على الجسم بحيث يكون طولها الموجى أقل من أبعاد الجسم المراد تكوين صورة مكبرة له لذلك لا يصلح الميكروسكوب الضوئى لرؤية الأجسام الصغيرة جدًا مثل الفيروسات حيث إن الطول الموجى للضوء المرئى أكبر من أبعاد الفيروس لذلك يتم استخدام شعاع من الإلكترونات فى الميكروسكوب الإلكترونى.



صورة للفيروسات باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى

* **فكرة عمل الميكروسكوب الإلكترونى :**
– **الفكرة :** الطبيعة الموجية للإلكترون.
– **الشرح :** بزيادة فرق الجهد بين الكاثود والآنود فى المجهر الإلكترونى تزداد طاقة حركة الإلكترون وبالتالى تزداد سرعته (v) تبعًا للعلاقة $(KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV)$، ومن معادلة دى برولى $(\lambda = \frac{h}{m_e v})$ نجد أنه بزيادة سرعة الإلكترون يقل الطول الموجى المصاحب لحركته حتى يصبح أقل من أبعاد الجسم وبذلك يمكن تكوين صورة مكبرة له.

* يتشابه الميكروسكوب الإلكترونى مع الميكروسكوب الضوئى فى نواح عديدة ويختلف عنه فى نواح أخرى، كالتالى :



	الميكروسكوب الضوئى	الميكروسكوب الإلكترونى
الشعاع المستخدم	شعاع ضوئى	شعاع من الإلكترونات يصحب حركتها أمواج مادية طولها الموجى أقصر حوالى ألف مرة من الطول الموجى للشعاع الضوئى
العدسات المستخدمة	عدسات ضوئية (زجاجية) تعمل على تركيز الضوء على الجسم المراد تكبيره	عدسات إلكترونية (مغناطيسية) تعمل على تركيز شعاع الإلكترونات على الجسم المراد تكبيره
القدرة التحليلية	صغيرة نسبيًا وبذلك لا يستطيع أن يميز التفاصيل الدقيقة	كبيرة نسبيًا وبذلك يكون له القدرة على تمييز التفاصيل الدقيقة
معامل التكبير	محدود نسبيًا	كبير نسبيًا

ملحوظة

* القدرة التحليلية للميكروسكوب الإلكترونى كبيرة جدًا،

لأن الإلكترونات يمكن أن تمتلك طاقة حركة عالية جدًا ومن ثم أطوال موجية قصيرة جدًا وبالتالى تستطيع أن ترصد أجسام صغيرة لا يستطيع الضوء العادى أن يرصدها.

مثال

إذا استخدم فرق جهد 400 V بين الأنود والكاثود لميكروسكوب إلكترونى،

(أ) احسب :

١- أقصى طاقة حركة للإلكترون. ٢- أقصى سرعة للإلكترون.

٣- الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون.

(ب) هل يمكن رؤية جسيم طوله $5\ \mathring{A}$ ؟ ولماذا ؟

(علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s	$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$V = 400$ V

$\lambda = ?$	$v = ?$	$(KE)_{max} = ?$	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

(أ) ١-

$$(KE)_{max} = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 400 = 6.4 \times 10^{-17}\ J$$

٢-

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$6.4 \times 10^{-17} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$$

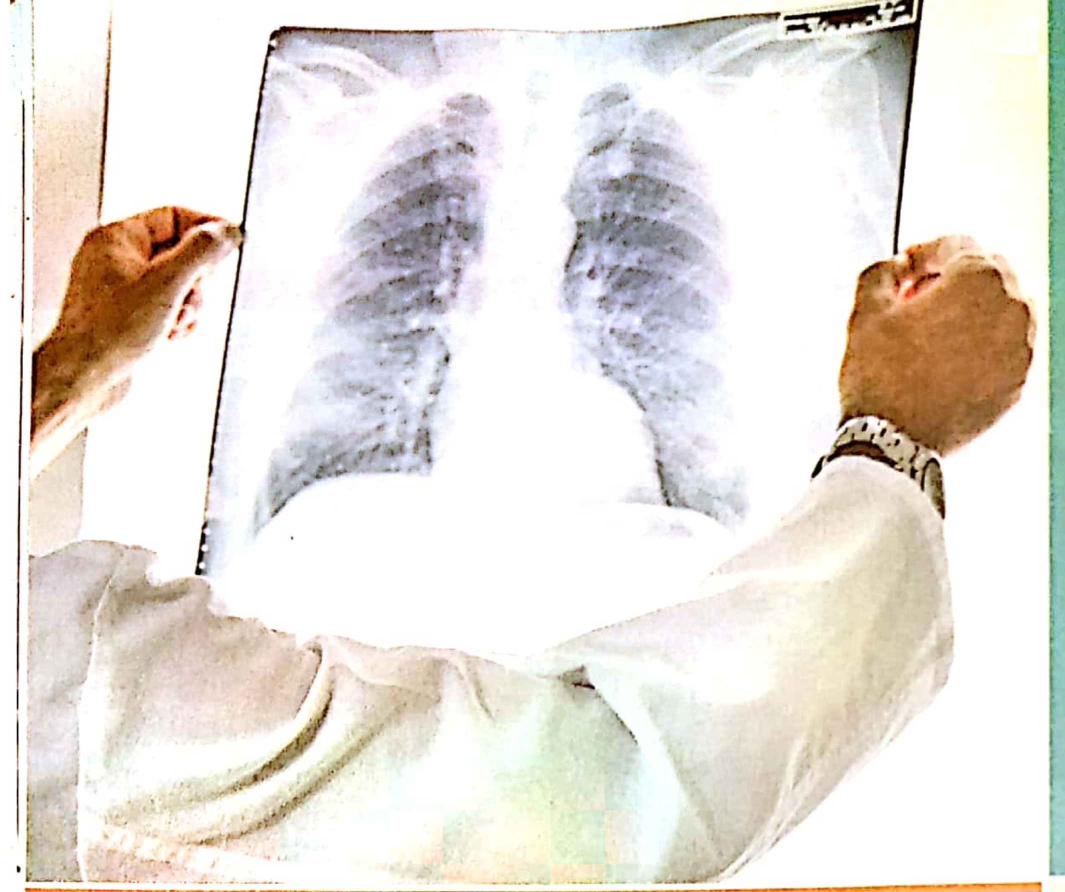
$$v = 1.19 \times 10^{7}\ m/s$$

٣-

$$\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 1.19 \times 10^{7}} = 6.12 \times 10^{-11}\ m$$

(ب) نعم، لأن الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون أقل من طول الجسيم.





الوحدة الثانية

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصل 6

الأطيـــاف الذريـــة

الفصل 6 الأطياف الذرية



* كلمة ذرة (Atom) تعود إلى اللغة الإغريقية، وتعنى الوحدة التى لا تنقسم، وقد وضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة، سندرس منها تصور العالم بور لتركيب الذرة.

نموذج ذرة بور Bohr's Model

* قام بور بدراسة تصورات العلماء السابقين له للذرة، وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروچين مستخدمًا **بعض تصورات العالم رذرفورد، وهى :**

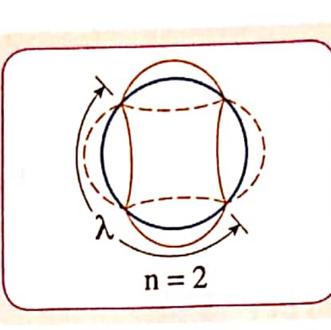
١. توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.
٢. تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى مستويات طاقة محددة تعرف بالأغلفة ولا يصدر الإلكترون إشعاعًا طالما كان متحركًا فى مستوى الطاقة الخاص به.
٣. الذرة متعادلة كهربيًا حيث إن عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى تحملها النواة.

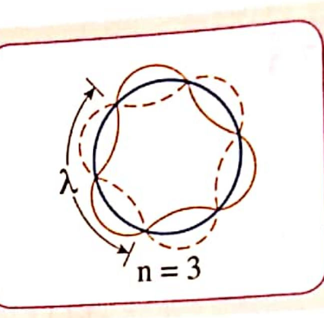
ثم أضاف بور الفروض الثلاثة الهامة التالية :

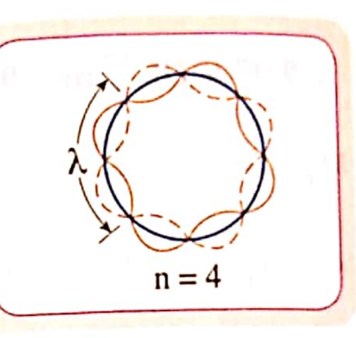
١. القوى الكهربية (قانون كولوم) والقوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق فى مجال الذرة.



٢ باعتبـار أن الموجـة المصاحبـة لحركـة الإلكترون فـى ذرة الهيدروچين تمثـل موجة موقوفة (حسب فرض دى برولى) بحيث يكون عدد الموجات الموقوفة (الأطوال الموجية) مساويًا لرقم المدار كما بالشكل التالى :







وبالتالى يمكن حساب نصف قطر مدار الإلكترون تقديريًا من العلاقة : $2\pi r = n\lambda$

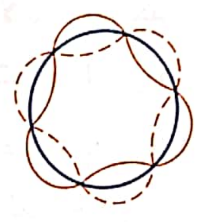
حيث : (r) نصف قطر المدار،

(n) عدد الأمواج الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون (عدد صحيح أكبر من الصفر)،

(λ) الطول الموجى للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون.

٣ عندما ينتقل إلكترون من مسـتوى طاقة أعلى (E_2) إلى مسـتوى أدنى للطاقة (E_1)، ينطلق نتيجة لذلك فوتون طاقته تساوى الفرق بين طاقتى المستويين $(h\upsilon = \Delta E = E_2 - E_1)$.

مثـال



الشكل المقابل يوضح الموجة الموقوفة المصاحبة لحركة إلكترون ذرة الهيدروچيـن فـى أحـد مسـتويات الطاقة، فـإذا علمت أن سرعة الإلكترون فى هذا المستوى 7.3×10^5 m/s، **احسب :**

(أ) الطول الموجى للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون فى هذا المستوى.

(ب) نصف قطر مستوى الطاقة الذى يتحرك فيه الإلكترون.

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحـل

$v_n = 7.3 \times 10^5$ m/s	$n = 3$	$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s
$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$\lambda_n = ?$	$r_n = ?$

(أ)

$$\lambda_n = \frac{h}{m_e v_n}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 7.3 \times 10^{5}}$$

$$= \mathbf{9.97 \times 10^{-10}\ m = 9.97\ \mathring{A}}$$

(ب)

$$2\pi r_n = n\lambda_n$$

$$2 \times \frac{22}{7} r_n = 3 \times 9.97 \times 10^{-10}$$

$$r_n = \mathbf{4.76 \times 10^{-10}\ m = 4.76\ \mathring{A}}$$

الطيف الخطى لغاز الهيدروچين (انبعاث الضوء من ذرة بور)

* عندما تكتسب ذرات الهيدروچين طاقة فإنها تثار، ويلاحظ التالى :

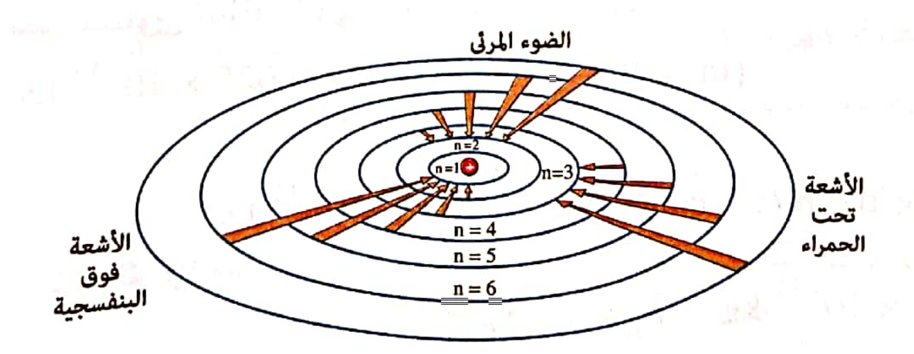
١ لا تثار الذرات كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات فى الذرات المختلفة من المستوى الأول K ($n = 1$) إلى مستويات مختلفة أعلى منه L، M، N، ... ($n = 2$ or 3 or 4 ....).

٢ يمكن حساب طاقة أى مستوى (E_n) فى ذرة الهيدروچين من العلاقة : $\mathbf{E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ (eV)}$

٣ لا تبقى الإلكترونات فى مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جدًا (حوالى 10^{-8}s) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

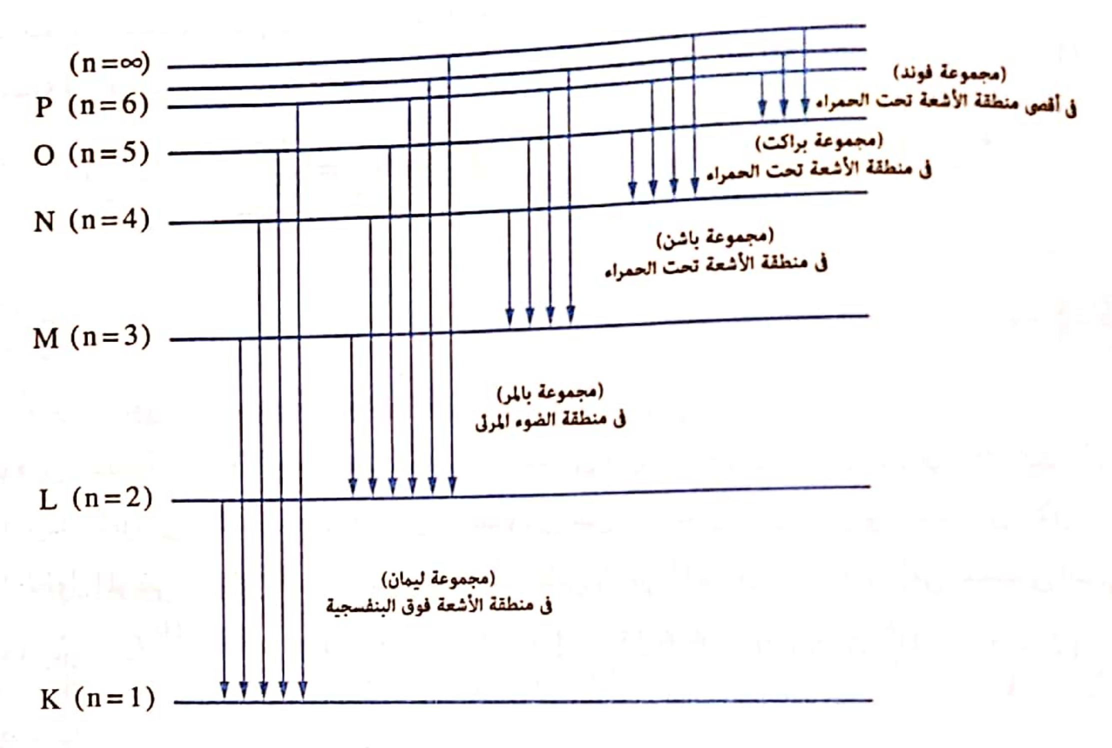
٤ عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل فوتون تردده υ وطاقته $h\upsilon$ وطوله الموجى λ

حيث : $\lambda = \frac{c}{\upsilon}$ ، $h\upsilon = E_2 - E_1$





٥ عند إثارة عدد كبير من ذرات الهيدروچين ينشأ عن عودة الإلكترون داخل كل ذرة من المستويات العليا إلى المستويات الأدنى انبعاث طيف خطى يتكون من خمس مجموعات أو متسلسلات، وتترتب هذه المتسلسلات كالتالى :



المتسلسلة	الانتقال	المنطقة	
١ سلسلة ليمان	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الأول (n = 1) K	تقع فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية	أعلى طاقة - أقل طول موجى - أعلى تردد
٢ سلسلة بالمر	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثانى (n = 2) L	تقع فى منطقة الضوء المرئى	
٣ سلسلة باشن	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثالث (n = 3) M	تقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء	
٤ سلسلة براكت	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الرابع (n = 4) N	تقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء	
٥ سلسلة فوند	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الخامس (n = 5) O	تقع فى أقصى منطقة الأشعة تحت الحمراء	أكبر طول موجى - أقل تردد - أقل طاقة

* حساب طاقة الإشعاع :

تنبعث أكبر طاقة (أقصر طول موجى)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة فى مالانهاية (E_∞) إلى مستوى الطاقة الأدنى (E_1) :

$E_\infty = 0$ ،

$$E_\infty - E_1 = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

تنبعث أقل طاقة (أكبر طول موجى)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة (E_2) إلى مستوى الطاقة الأدنى الذى يليه (E_1) :

$$E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

مثال ١

تبعًا لنموذج بور لطيف ذرة الهيدروجين، **احسب :**

(أ) فرق الطاقة بوحدة الجول عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الأول.

(ب) تردد الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.

(جـ) الطول الموجى للفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الثانى.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحل

(أ)

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$$

$$E_5 = -\frac{13.6}{(5)^2} = -0.544 \text{ eV}$$

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_5 - E_1 = -0.544 - (-13.6) = 13.056 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 13.056 \times 1.6 \times 10^{-19} = \mathbf{2.09 \times 10^{-18} \text{ J}}$$

(ب)

$$E_4 = -\frac{13.6}{(4)^2} = -0.85 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_4 - E_1 = -0.85 - (-13.6) = 12.75 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 12.75 \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.04 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\Delta E = h\upsilon$$

$$\upsilon = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2.04 \times 10^{-18}}{6.625 \times 10^{-34}} = \mathbf{3.08 \times 10^{15} \text{ Hz}}$$



(جـ)

$$E_2 = -\frac{13.6}{(2)^2} = -3.4 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_5 - E_2 = -0.544 - (-3.4) = 2.856 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 2.856 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.57 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{4.57 \times 10^{-19}} = \mathbf{4.35 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

مثال ٢

إذا علمت أن طاقة المستوى الأول فى ذرة الهيدروچين -13.6 eV ، **احسب** أكبر وأقل طاقة للفوتون الناتج عند عودة الإلكترون المثار للمستوى الأول. (علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحل

$E_1 = -13.6$ eV	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C	$\Delta E = ?$

* أكبر طاقة : $\Delta E = E_\infty - E_1 = 0 - (-13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}) = \mathbf{21.76 \times 10^{-19}\ J}$

* أقل طاقة : $\Delta E = E_2 - E_1$

$$= \left(\frac{-13.6}{(2)^2} \times 1.6 \times 10^{-19}\right) - (-21.76 \times 10^{-19}) = \mathbf{16.32 \times 10^{-19}\ J}$$

الأطيـــاف

* عند سقوط ضوء الشمس على منشور ثلاثى فإنه يتحلل إلى مكوناته من الأشعة المرئية (الضوء المرئى) والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، وتسمى السلسلة الطيفية الناتجة بالطيف.
* تُعد دراسة وتفسير الطيف الذرى للعناصر من أهم الدراسات التى أدت إلى معرفة التركيب الذرى والجزيئى لها، ويتم ذلك باستخدام جهاز **المطياف**.

المطياف Spectrometer

الوظيفة : تحليل الضوء إلى مكوناته المرئية وغير المرئية والحصول منها على طيف نقى.

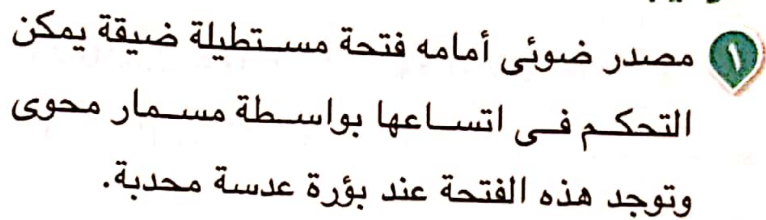
الاستخدام :

١. التعرف على مصادر الطيف المختلفة.
٢. تقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات.

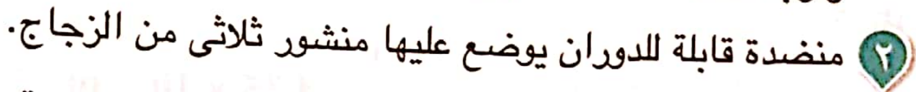
الطيف النقى

طيف ألوانه غير متداخلة ويكون لكل لون طول موجى محدد.

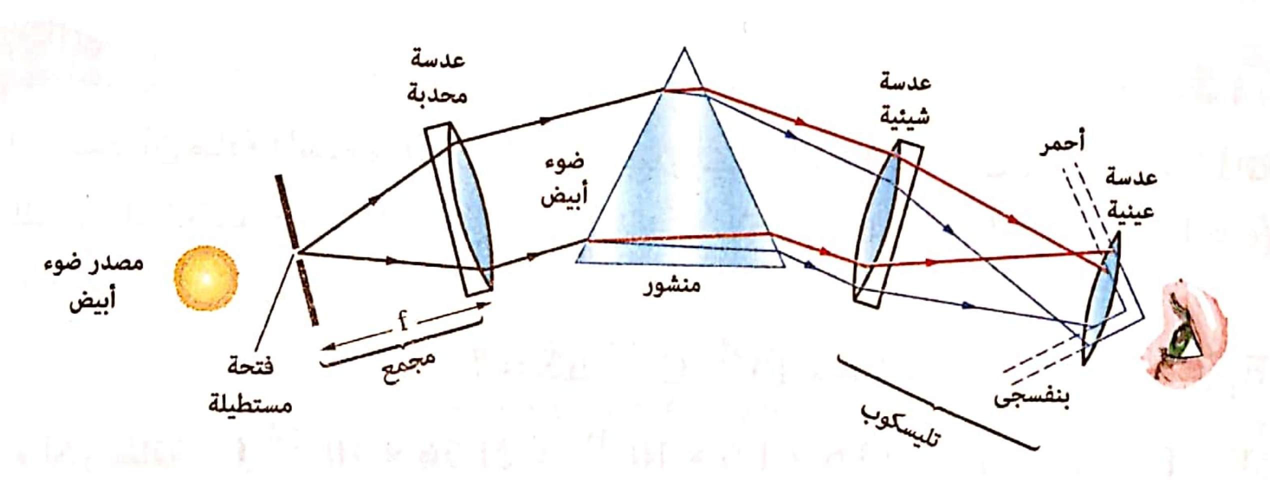
التركيب :



1. مصدر ضوئى أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم فى اتساعها بواسطة مسمار محوى وتوجد هذه الفتحة عند بؤرة عدسة محدبة.



2. منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثى من الزجاج.
3. تليسكوب مكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.



طريقة العمل :

1. تضاء الفتحة المستطيلة بضوء أبيض يسقط على أحد أوجه المنشور.
2. يتم ضبط المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويوجه التليسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور.
3. يعمل المنشور على تحليل أشعة الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف بحيث تخرج أشعة كل لون متوازية مع بعضها وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى لأن لكل لون من ألوان الطيف زاوية انحراف خاصة به.
4. تعمل العدسة الشيئية للتليسكوب على تجميع أشعة كل لون فى بؤرة خاصة بحيث يمكن رؤيتها محددة بواسطة العدسة العينية.

شروط الحصول على طيف نقى بواسطة المطياف (الأسبكترومتر) :

أن يكون المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف وتجمع الأشعة المتوازية لكل لون فى بؤرة خاصة بواسطة العدسة الشيئية.



أنواع الأطياف

* يوجد نوعان من الأطياف :

طيف مستمر (متصل)	طيف خطى
طيف يتضمن توزيعًا مستمرًا أو متصلًا للترددات أو الأطوال الموجية.	طيف يتضمن توزيعًا غير مستمرًا للترددات أو الأطوال الموجية.
يمكن الحصول عليه عن طريق	
تحليل الإشعاعات المنبعثة من الأجسام الساخنة كالشمس وفتيل المصباح الكهربى.	تحليل الإشعاع المنبعث من غاز عنصر تحت ضغط منخفض فى أنابيب التفريغ الكهربى، ويعتبر صفة مميزة للعنصر.

* تنقسم أطياف العناصر إلى :

١ طيف الانبعاث

طيف الانبعاث للهيدروجين الذرى

طيف الانبعاث للزئبق

* هو الطيف الناتج عن انتقال ذرة مثارة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة ونظرًا لأنه لا يمكن إثارة العناصر إلا إذا كانت فى صورة ذرية وليست جزيئية، فإن الطيف الخطى لا يصدر من المادة إلا إذا كانت فى صورة ذرات منفصلة أو فى الحالة الغازية تحت ضغط منخفض.
* يظهر طيف الانبعاث على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة **خطوط مضيئة على خلفية سوداء.**

٢ طيف الامتصاص

* إذا مر طيف مستمر (مثل ضوء أبيض) خلال غاز ما،

فإنه يلاحظ :

اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله، هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية لأطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز لذلك فهى تعتبر خاصية مميزة للعنصر، ويطلق عليها **طيف الامتصاص الخطى**

* يظهر طيف الامتصاص على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة **خطوط معتمة على خلفية مضيئة.**

طيف الامتصاص الخطى

خطوط معتمة لبعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر، وهذه الخطوط ناتجة عن امتصاص بخار العنصر لخطوط الطيف المميزة له.

خطوط فرونهوفر

أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة فى الغلاف الشمسى وقد وجد أنها خاصة بعنصرى الهيليوم والهيدروچين.

* وقد أثبت هذا وجود عنصرى الهيليوم والهيدروچين فى الغلاف الشمسى، حيث إن طيف الشمس يحتوى على أطياف الامتصاص الخطية للهيليوم والهيدروچين ويطلق عليها **خطوط فرونهوفر**.

الأشعة السينية X-Rays

* اكتشف العالم رونتجن أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية طولها الموجى قصير يتراوح بين 10^{-13} m و 10^{-8} m أى بين الأطوال الموجية لأشعة جاما والأشعة فوق البنفسجية وهى ذات طاقة عالية، وأطلق عليها الأشعة المجهولة أو **الأشعة السينية** لأنه لم يكن يعرف ماهيتها.

خصائص الأشعة السينية

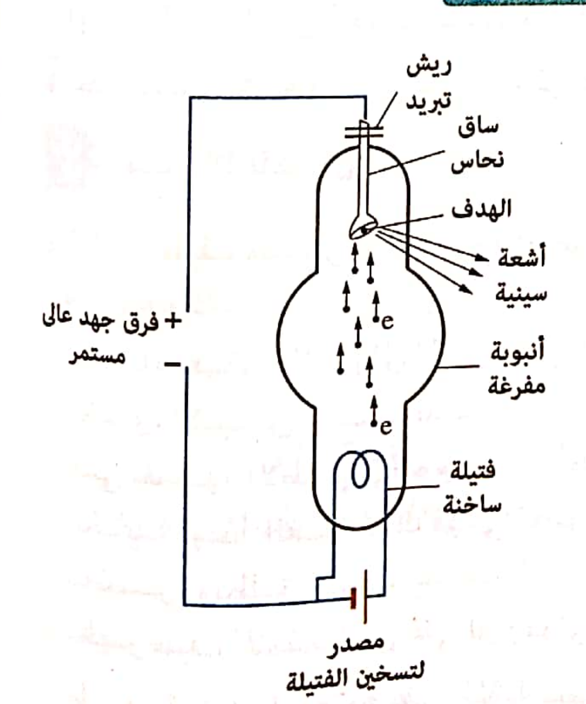
١. ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
٢. ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
٣. يحدث لها حيود عند مرورها خلال البلورات.
٤. تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

الحصول على الأشعة السينية باستخدام أنبوبة كولدج

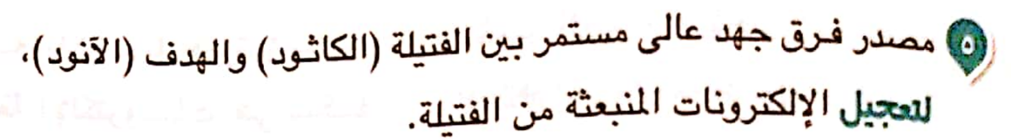
التركيب :

أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء تحتوى على :

١. فتيلة تعمل كمصدر للإلكترونات (الكاثود).
٢. مصدر لتسخين الفتيلة.
٣. هدف من عنصر عدده الذرى كبير ودرجة انصهاره عالية مثل التنجستين.
٤. ريش تبريد مثبتة على ساق نحاسية تتصل بالهدف (الآنود) لتبريده.







٥ مصدر فرق جهد عالى مستمر بين الفتيلة (الكاثود) والهدف (الآنود)، لتعجيل الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة.

شرح العمل :

١ عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربى.

٢ تكتسب الإلكترونات طاقة حركة كبيرة يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

٣ عند اصطدام الإلكترونات بالهدف ينطلق من الهدف أشعة سينية.

طيف الأشعة السينية

* بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركبتين كما بالشكل :

١ طيف مستمر يحتوى على جميع الأطوال الموجية فى مدى معين، ولا يتوقف على نوع مادة الهدف بل يعتمد على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

٢ طيف خطى يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف.

ويمكن التمييز بينهما كما يلى :

الطيف المستمر (المتصل) للأشعة السينية	الطيف الخطى (المميز) للأشعة السينية
يطلق عليه	
أشعة الكابح (الفرملة) أو الإشعاع اللين أو الإشعاع الناعم	الإشعاع الشديد أو الحاد
كيفية التولد	
- عند مرور الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف تتناقص سرعتها وتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت.	- عند تصادم أحد الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) بأحد الإلكترونات القريبة من نواة إحدى ذرات مادة الهدف يكتسب الأخير طاقة تجعله ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة ويحل محله إلكترون آخر من مستوى طاقة أعلى.

- طبقًا لنظرية ماكسويل هيرتز يظهر الفقد فى طاقة الإلكترونات على شكل إشعاعًا كهرومغناطيسيًا يحتوى على جميع الأطوال الموجية الممكنة لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.	- يظهر الفرق بين طاقتى المستويين على شكل إشعاع له طول موجى محدد، يمكن تعيينه من العلاقة : $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$

العوامل التى يتوقف عليها الطول الموجى

- يتوقف أقصر طول موجى (λ_{min}) للطيف المستمر على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف حيث ($\lambda_{min} \propto \frac{1}{V}$). - لا يتوقف على نوع مادة الهدف.	- يتوقف على نوع مادة الهدف حيث يقل الطول الموجى للطيف المميز بزيادة العدد الذرى لعنصر مادة الهدف. - لا يتوقف على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف إلا أن الأشعة المميزة قد لا تظهر عند فروق الجهد المنخفضة.

ملاحظات

* **يمكن زيادة شدة الأشعة السينية عن طريق :**

(١) زيادة شدة تيار الفتيلة، مما يؤدى إلى زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة والتى تصطدم بالهدف فيزداد عدد فوتونات أشعة إكس المنبعثة من الهدف.

(٢) زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود.

* **يمكن زيادة نفاذية أشعة إكس عن طريق :**

(١) استخدام هدف ذو عدد ذرى أكبر فيقل الطول الموجى للطيف الخطى المميز.

(٢) زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود.

مثال ١

فى أنبوبة كولدج إذا كان التيار المار فى الأنبوبة شدته 10 mA وفرق الجهد بين الفتيلة والهدف 15 kV، **احسب :**

(أ) الطاقة العظمى للإلكترونات.

(ب) أقصى سرعة للإلكترونات.



(جـ) أقصر طول موجى للأشعة السينية الصادرة.
(د) عدد الإلكترونات التى تصل للهدف فى الثانية.
(علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $c = 3 \times 10^8$ m/s)

الحـــل

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C	$V = 15 \times 10^3$ V	$I = 10 \times 10^{-3}$ A

$N = ?$	$\lambda_{min} = ?$	$v = ?$	$\Delta E = ?$	$c = 3 \times 10^8$ m/s	$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s

(أ) $\Delta E = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 15 \times 10^3 = 2.4 \times 10^{-15}$ J

(ب) $\Delta E = \frac{1}{2} m_e v^2$

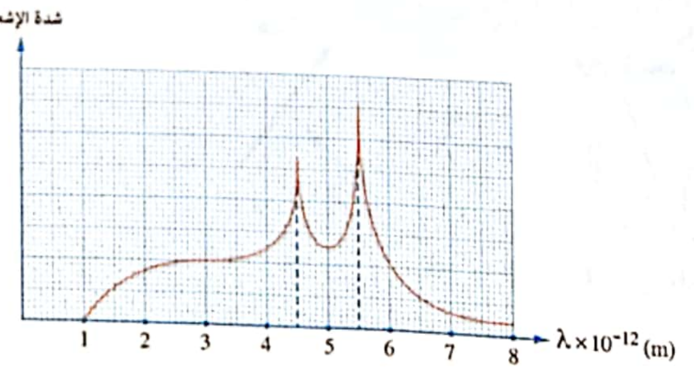
$$v = \sqrt{\frac{2\,\Delta E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.4 \times 10^{-15}}{9.1 \times 10^{-31}}} = 72.63 \times 10^6 \text{ m/s}$$

(جـ) $\lambda_{min} = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.4 \times 10^{-15}} = 8.28 \times 10^{-11}$ m $= 0.828$ Å

(د) $N = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e} = \frac{10 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{16}$ electron



الشكل المقابل يوضح العلاقة بين شدة الإشعاع والطول الموجى لطيف الأشعة السينية المنبعثة من أنبوبة كولدچ،



احسب :
(أ) فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.
(ب) أعلى تردد للطيف الخطى للأشعة السينية.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحـــل

$\lambda_{min} = 1 \times 10^{-12}$ m | $\lambda_1 = 4.5 \times 10^{-12}$ m | $\lambda_2 = 5.5 \times 10^{-12}$ m

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $c = 3 \times 10^8$ m/s

$V = ?$ | $\upsilon_{max} = ?$

(أ)

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

$$V = \frac{hc}{e\lambda_{min}} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-12}} = 1.24 \times 10^6 \text{ V}$$

(ب)

$$\upsilon_{max} = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{4.5 \times 10^{-12}}$$

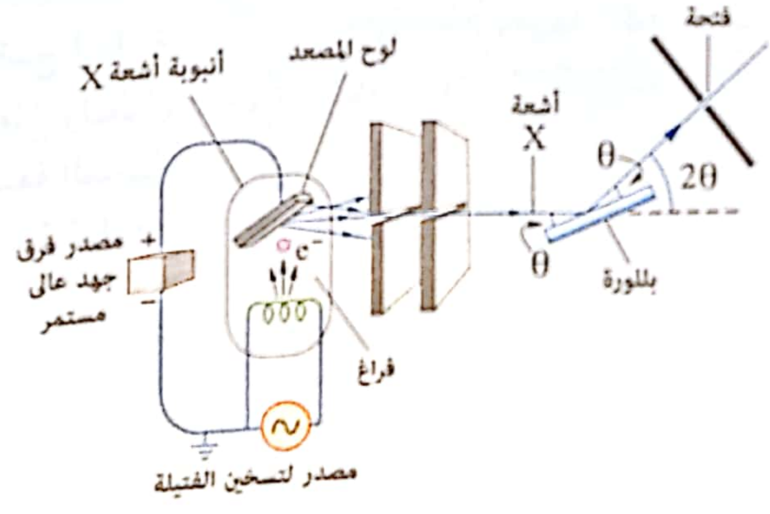
$$= 6.67 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

تطبيقات الأشعة السينية

* تستخدم الأشعة السينية فى :

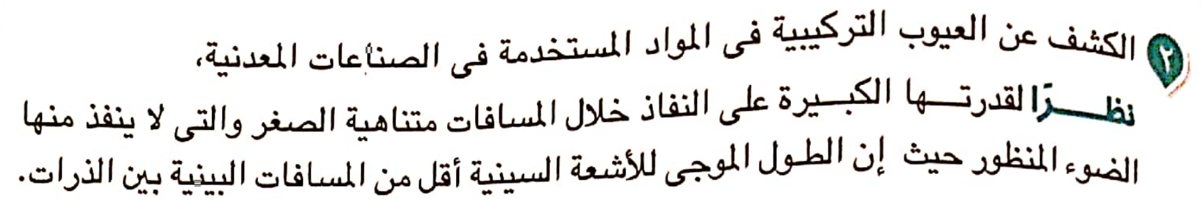
(١) دراسة التركيب البللورى للمواد،

لأن الأشعة السينية تتميز بقابليتها للحيود عند مرورها فى البللورات فيحدث تداخل بين الموجـات التـى تنفذ من بين الذرات كما لو كانت فتحـات متعددة (مثل محزوز الحيود أو الشـق المـزدوج) حيث تتكون هُـدب مضيئة وهُدب مظلمة تبعًا لفرق المسـار بين الموجات المتداخلة.



استخدام أشعة إكس فى دراسة التركيب البللورى للمواد

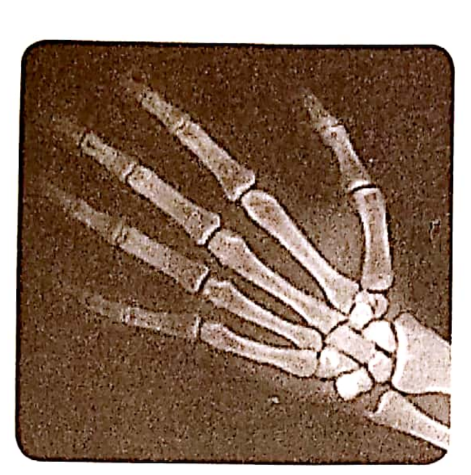




٢ الكشف عن العيوب التركيبية فى المواد المستخدمة فى الصناعات المعدنية،

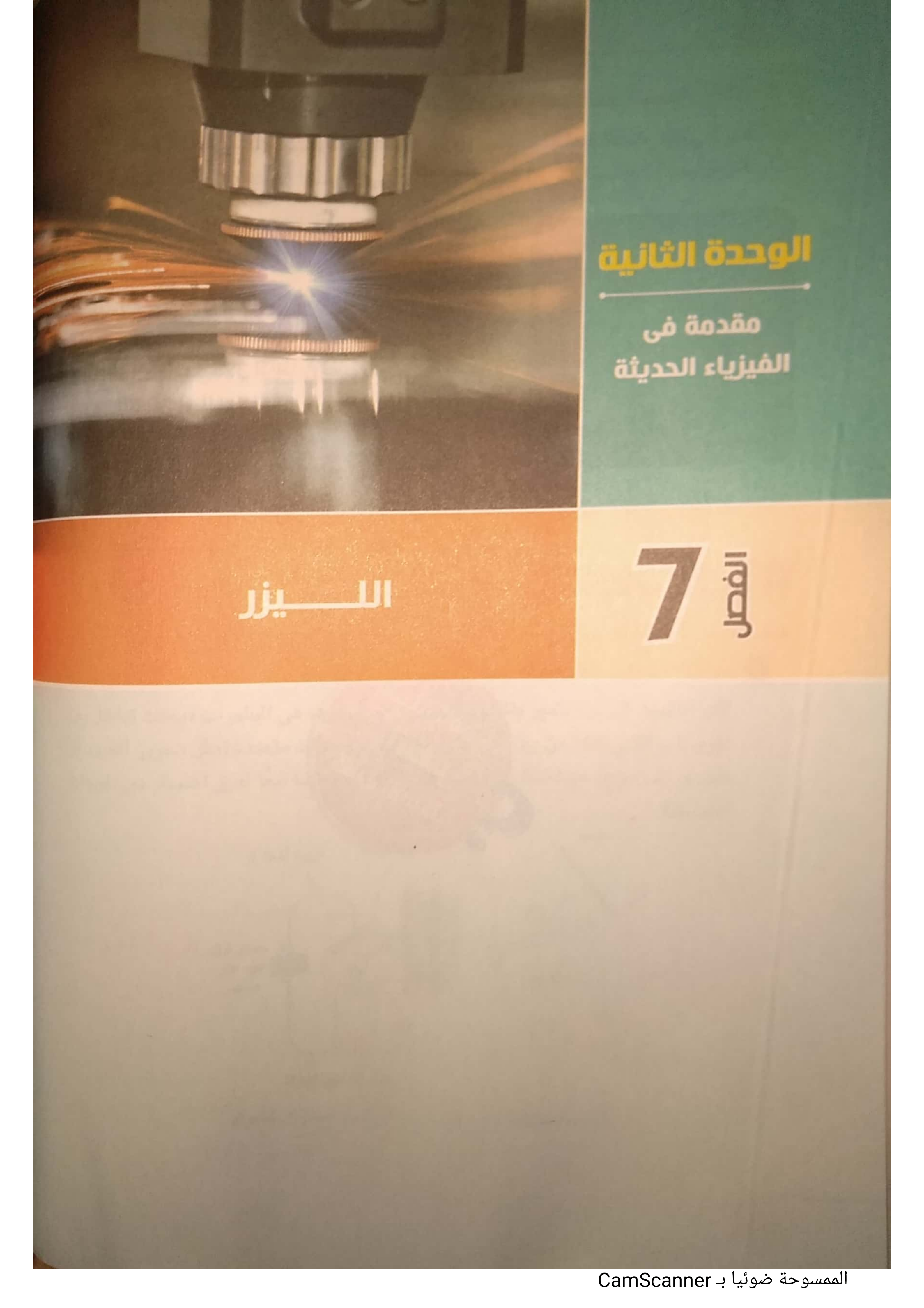
نظـــرًا لقدرتـــها الكبـــيرة على النفاذ خلال المسافات متناهية الصغر والتى لا ينفذ منها الضوء المنظور حيث إن الطول الموجى للأشعة السينية أقل من المسافات البينية بين الذرات.

٣ تصوير العظام وتحديد أماكن الكسور أو الشروخ وبعض التشخيصات الطبية،

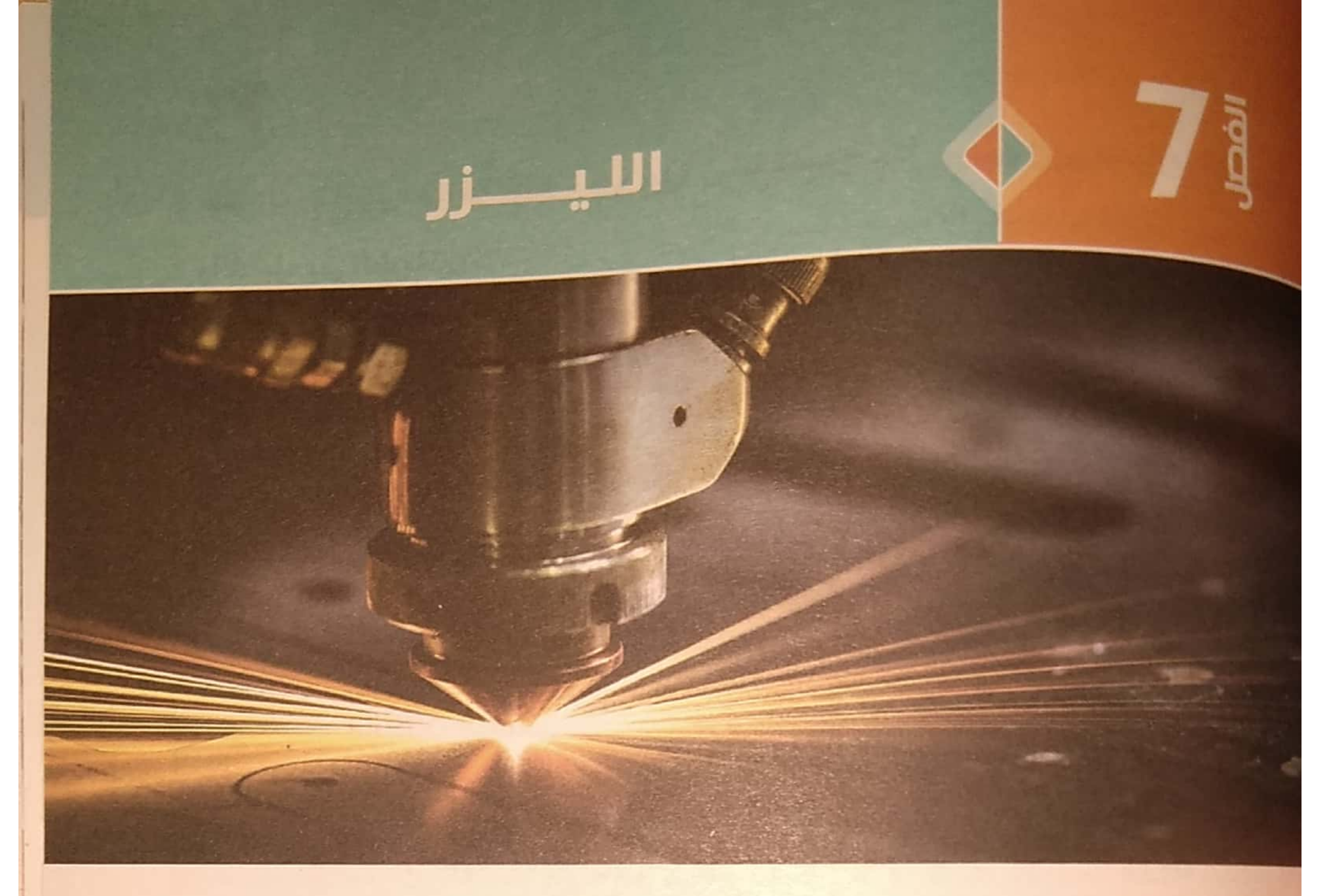


نظـــرًا لقدرتها علـى اختراق الأجسـام بدرجات متفاوتة حيث تنفذ من أماكن الكسور بدرجة أكبر مـن نفاذها خلال العظام وبذلك يتم تحديد أماكن الكسور أو الشروخ.




الوحدة الثانية
مقدمة فى
الفيزياء الحديثة
الفصل
7
الليزر

الليــــزر



* قام العالم الأمريكى ميمان عام ١٩٦٠م بصناعة أول جهاز ليزر باستخدام بللورة من الياقوت المطعم بالكروم، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر حتى أصبح ضوء الليزر يغطى مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى منها المنطقة المرئية وفوق البنفسجية وتحت الحمراء مما أدى إلى انتشار استخدامه سواء فى أفرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة والاتصالات أو أفرع العلوم الأساسية كالكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والجيولوجيا.

* جاءت تسمية كلمة ليزر (LASER) من الحروف الأولى للعبارة :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعنى تكبير شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع وهى تعبر عن فكرة عمل الليزر.

الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث Spontaneous Emission and Stimulated Emission

* تكون الذرة فى الحالة العادية (مستقرة) عندما تكون فى المستوى الأرضى (طاقته E_0)، وعندما تكتسب الذرة فوتون طاقته $h\upsilon = E_n - E_0$ حيث $(E_n = E_1 , E_2 , E_3 , ...)$ فإنها تنتقل من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الطاقة الأعلى (E_n) والتى تسمى مستويات الإثارة، وتعرف هذه العملية بعملية إثارة الذرة.

إثارة الذرة

عملية امتصاص الذرة لفوتون وانتقالها من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الإثارة.

* تفقد الذرة المثارة طاقة الإثارة بعد فترة زمنية قصيرة جدًا وتعود إلى مستواها الأرضي، وذلك بإحدى الطريقتين :

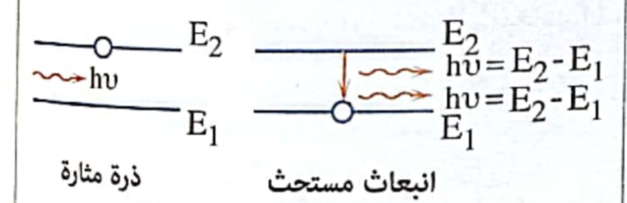
١ الانبعاث التلقائي ويحدث بعد انتهاء فترة العمر بدون مؤثر خارجي.

٢ الانبعاث المستحث ويحدث قبل انتهاء فترة العمر بتأثير سقوط فوتون آخر له نفس طاقة الإثارة.

فترة العمر

الفترة الزمنية التي تتخلص بعدها الذرة من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون وتعود إلى حالتها العادية تلقائيًا.

ويمكن توضيح الفرق بينهما كما يلي :

الانبعاث التلقائي	الانبعاث المستحث
كيفية الحدوث	
عند انتقال الذرة المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة تلقائيًا (دون أي مؤثر خارجي) بعد انتهاء فترة العمر (حوالي 10^{-8} s) تشع الذرة فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين	عند انتقال الذرة المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة قبل انتهاء فترة العمر بتأثير سقوط فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين تشع الذرة فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين منبعثًا مع الفوتون الساقط
E_2, E_1 ذرة مثارة — E_2, $h\upsilon = E_2 - E_1$, E_1 انبعاث تلقائي	
خصائص الفوتونات المنبعثة	
– ينبعث فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين.	– ينبعث فوتونان متساويان في التردد يتحركان في نفس الاتجاه بنفس الطور (أي مترابطان).

مصادر الضوء العادية	مصادر الليزر
- الفوتونات المنبعثة تغطى مدى كبير من الأطوال الموجية فى الطيف الكهرومغناطيسى.	- للفوتونات المنبعثة طول موجى واحد فقط.
- تنتشر الفوتونات بصورة عشوائية فى جميع الاتجاهات.	- تنتشر الفوتونات فى اتجاه واحد على هيئة أشعة متوازية.
- يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسيًا مع مربع البعد عن المصدر (**تخضع لقانون التربيع العكسى**).	- تظل شدة الإشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة (**لا تخضع لقانون التربيع العكسى**).

أمثلة

قانون التربيع العكسى

تتناسب الشدة الضوئية الساقطة على سطح عكسيًا مع مربع المسافة بين السطح والمصدر الضوئى.

* **مما سبق يمكن تعريف كل من الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث كالتالى :**

الانبعاث التلقائى

انطلاق فوتون من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائيًا (بدون أى مؤثر خارجى).

الانبعاث المستحث

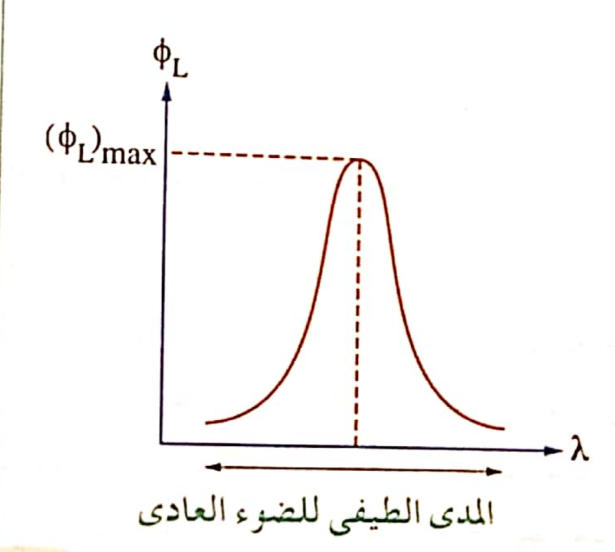
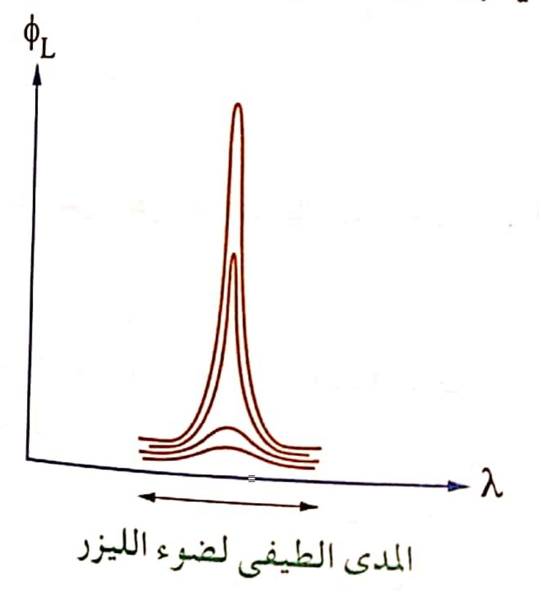
انطلاق فوتون من الذرة المثارة نتيجة سقوط فوتون آخر خارجى له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها قبل انتهاء فترة العمر لتخرج فى النهاية فوتونات فى حالة ترابط (لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

* **يلاحظ أنه بالرغم من انبعاث فوتونين بتأثير فوتون واحد فى عملية الانبعاث المستحث، فإن ذلك لا يُعد خرقًا لقانون بقاء الطاقة.**

لأن أحد الفوتونين هو الفوتون الساقط على الذرة المثارة والآخر ناتج عن عودة الذرة من مستوى الإثارة إلى مستوى طاقة أقل.

خصائص أشعة الليزر

* تتميز أشعة الليزر عن أشعة الضوء العادى فى أنها ناتجة عن انبعاث مستحث للذرات أما أشعة الضوء العادى يكون الانبعاث السائد فيها هو الانبعاث التلقائى، وهذا الاختلاف ينعكس على خصائص كل منهما كما يلى :

الضوء العادى	الليـــزر
النقاء الطيفى	
– الفوتونات المنبعثة لها مدى كبير من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى كبير) لذلك عند رؤية الضوء بالعين المجردة تستشعر تعدد درجاته.	– الفوتونات المنبعثة لها مدى ضئيل جدًا من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى صغير).
– تتفاوت شدة الإشعاع من طول موجى لآخر.	– تتركز الشدة عند طول موجى معين لذلك يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى.
 المدى الطيفى للضوء العادى	 المدى الطيفى لضوء الليزر
الترابط	
– فوتونات الضوء العادى غير مترابطة زمانيًا ومكانيًا لأنها : • تنطلق من المصدر فى لحظات مختلفة. • تنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى الطور.	– فوتونات الليزر مترابطة زمانيًا ومكانيًا لأنها : • تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة. • تحتفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة مما يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزًا.

الشـدة

تخضع لقانون التربيع العكسى فتقل شدة الضوء الساقط على السطح بزيادة المسافة بين السطح والمصدر الضوئى ويرجع ذلك إلى عدم ترابط الفوتونات أثناء انتشارها

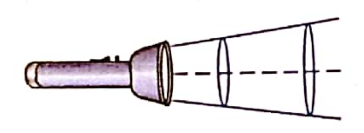


لا تخضع لقانون التربيع العكسى وبالتالى تظل شدة الضوء الساقط على السطح ثابتة مهما كانت المسافة بين السطح والمصدر الضوئى ويرجع ذلك إلى ترابط الفوتونات فتكون الأشعة أكثر شدة وتركيز فتنتشر لمسافات بعيدة دون تشتت يذكر



تـوازى الحزمـة الضـوئية

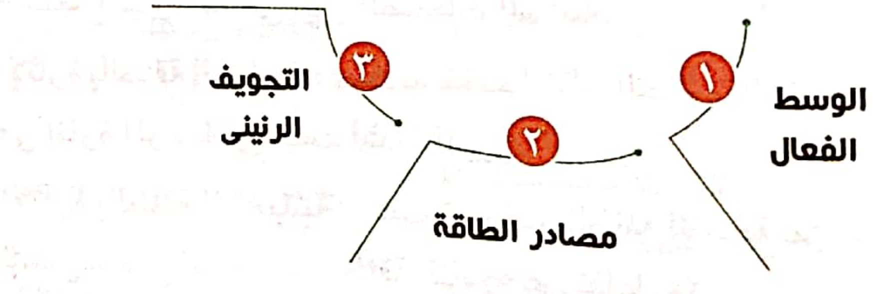
يزداد قطر الحزمة الضوئية أثناء انتشارها نتيجة التشتت (زاوية الانفراج كبيرة نسبيًا)



يظل قطر الحزمة الضوئية ثابتًا أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك حزمة الليزر بصورة متوازية (زاوية الانفراج ضئيلة جدًا) ولا تعانى تشتت يذكر لأن فوتونات الليزر مترابطة زمانيًا ومكانيًا ومن ثم يمكن نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ

العناصر الأساسية لليزر

* بالرغم من وجود أنواع مختلفة من الليزر إلا أن أى جهاز ليزر يتضمن ثلاثة عناصر أساسية، هى :



وسنتناول فيما يلى كل منها على حدة بشىء من التفصيل.



١ الوسط الفعال

* هو المادة الفعالة لإنتاج شعاع الليزر، وقد يكون فى صورة :

١ بللورات صلبة	مثل	الياقوت الصناعى.
٢ مواد صلبة شبه موصلة	مثل	بللورات السيليكون.
٣ صبغات سائلة	مثل	الصبغات العضوية المذابة فى الماء.
٤ ذرات غازية	مثل	خليط غازى الهيليوم والنيون.
٥ غازات متأينة	مثل	غاز الأرجون المتأين.
٦ جزيئات غازية	مثل	غاز ثانى أكسيد الكربون.

٢ مصادر الطاقة

* هى المسئولة عن إكساب ذرات أو جزيئات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها، ومنها :

١ الإثارة بالطاقة الكهربية :

وتتم عن طريق :

- التفريغ الكهربى باستخدام فرق جهد عالى مستمر وغالبًا ما تستخدم هذه الطريقة فى أجهزة الليزر الغازية مثل ليزر (الهيليوم – نيون) وليزر ثانى أكسيد الكربون وليزر الأرجون.
- استخدام مصادر الترددات الراديوية.

٢ الإثارة بالطاقة الضوئية :

وتعرف بالضخ الضوئى وتتم عن طريق استخدام :

- المصابيح الوهاجة ذات الطاقات العالية كما فى ليزر الياقوت.
- شعاع ليزر كما فى ليزر الصبغات السائلة.

عملية الضخ الضوئى

إثارة ذرات الوسط الفعال بالطاقة الضوئية لتوليد الليزر.

٣ الإثارة بالطاقة الحرارية : حيث يستخدم التأثير الحرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات فى إثارة المواد التى تبعث أشعة الليزر.

٤ الإثارة بالطاقة الكيميائية : حيث تستخدم الطاقة الناتجة عن بعض التفاعلات الكيميائية لإنتاج شعاع الليزر مثل الطاقة الناتجة عن تفاعل مزيج من الهيدروچين والفلور أو فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

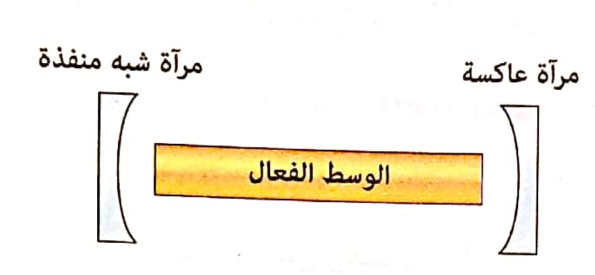


التجويف الرنينى

* هو الوعاء الحاوى للمادة الفعالة والمنشط والمسئول عن عملية التكبير، وهو نوعان :

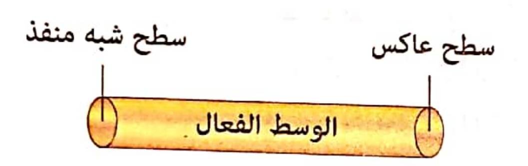
(١) تجويف رنينى خارجى :

عبارة عن مرآتين متوازيتين وعموديتين على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة والأخرى شبه منفذة تحصران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هى الأساس فى عملية التكبير الضوئى وهو التجويف المستخدم فى ليزر الغازات، **مثل** ليزر (الهيليوم - نيون).



(٢) تجويف رنينى داخلى :

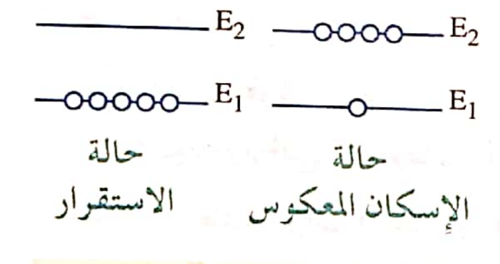
حيث يتم طلاء نهايتى المادة الفعالة لتعملا كمرآتين متوازيتين ومتعامدتين على محور البللورة إحداهما عاكسة والأخرى شبه منفذة لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة وهو التجويف المستخدم فى ليزر الجوامد، **مثل** ليزر الياقوت.



نظرية عمل الليزر (الفعل الليزرى)

* **يعتمد الفعل الليزرى على :**

(١) الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال إلى حالة الإسكان المعكوس.



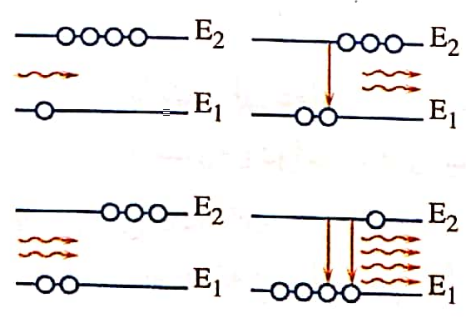


حالة الإسكان المعكوس

الحالة التى يكون فيها عدد الذرات فى مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها فى المستويات الأدنى.

(٢) انطلاق فوتونات من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.

(٣) تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنينى حيث تحدث انعكاسات متتالية للشعاع بين سطحى مرآتى التجويف فيحث ذرات أخرى على طول مساره لتولد فوتونات جديدة.



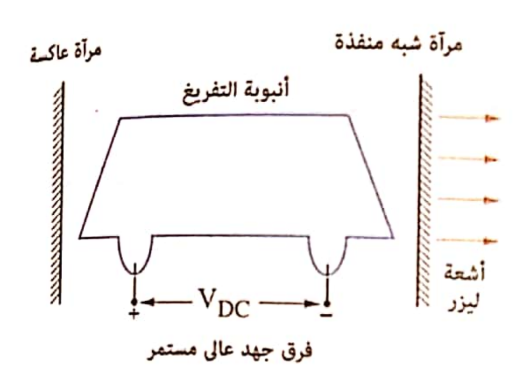
أنواع الليزر

* هناك أنواع مختلفة من الليزر فهناك :
- ليزرات صلبة مثل ليزر الياقوت.
- ليزرات سائلة مثل ليزر الصبغات السائلة.
- ليزرات غازية مثل ليزر (الهيليوم - نيون) وليزر الأرجون.

وسوف نتناول بشئ من التفصيل دراسة أحد الليزرات الغازية وهو ليزر (الهيليوم - نيون).

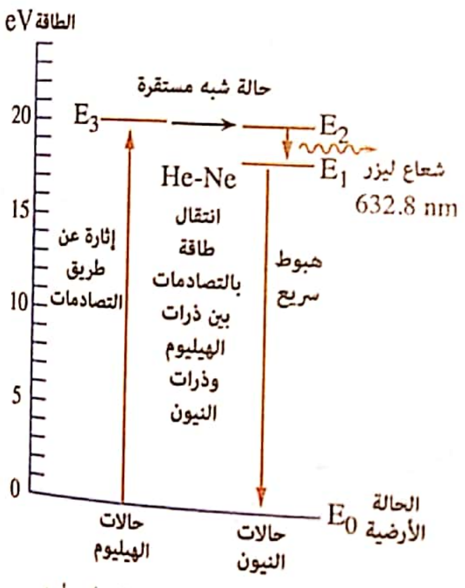
ليزر (الهيليوم - نيون) Helium-Neon Laser

تركيب الجهاز :



1. أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من غازى الهيليوم والنيون بنسبة 10 : 1 تحت ضغط منخفض حوالى 0.6 mmHg
2. مرآتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة (معامل انعكاسها 99.5 %) والأخرى شبه منفذة (معامل انعكاسها 98 %).
3. مجال كهربى عالى التردد أو فرق جهد كهربى عالى مستمر يسلط على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى وإثارة ذرات الغاز.

شرح العمل :

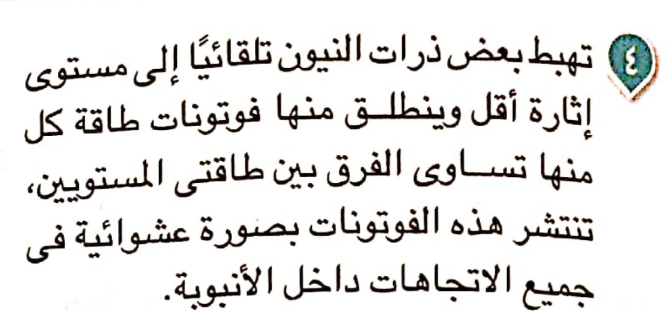


مخطط مستويات الطاقة فى ليزر (الهيليوم - نيون)

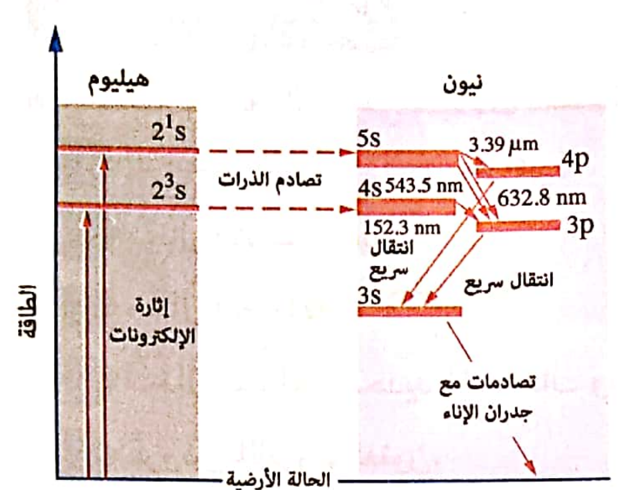
1. يعمل فرق الجهد الكهربى على إثارة ذرات الهيليوم إلى مستويات طاقة أعلى.
2. تصطدم ذرات الهيليوم المثارة تصادمًا غير مرنًا مع ذرات نيون غير مثارة ونظرًا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما تنتقل طاقة الإثارة من ذرات الهيليوم إلى ذرات النيون فتثار ذرات النيون.
3. باستمرار عملية التصادم بين ذرات الهيليوم المثارة وذرات النيون يحدث تراكم لذرات النيون فى مستوى إثارة يتميز بكبر فترة العمر له (حوالى 10^{-3} s) يعرف بمستوى الطاقة شبه المستقر، وبذلك يتحقق وضع الإسكان المعكوس لغاز النيون.

مستوى الطاقة شبه المستقر

مستوى طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبيًا (حوالى 10^{-3} s).



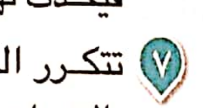
٤ تهبط بعض ذرات النيون تلقائيًا إلى مستوى إثارة أقل وينطلق منها فوتونات طاقة كل منها تساوى الفرق بين طاقتى المستويين، تنتشر هذه الفوتونات بصورة عشوائية فى جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.



الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة فى ليزر (الهيليوم – نيون)

٥ الفوتونات التى تتحرك فى اتجاه محور الأنبوبة أو موازية له تصطدم بإحدى المرآتين فترتد إلى الداخل مرة أخرى لتحدث عدة انعكاسات متتالية.

٦ أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين تصطدم ببعض ذرات النيون التى لم تنتهى فترة العمر لها فى المستوى شبه المستقر، فيحدث لها انبعاث مستحث وينطلق من كل ذرة فوتونان لهما نفس التردد والطور والاتجاه.



٧ تتكرر الخطوة السابقة مرات عديدة وفى كل مرة يتضاعف عدد الفوتونات الناتج بالانبعاث المستحث حتى تتم عملية تضخيم الإشعاع.

٨ عندما تصل شدة الإشعاع إلى حد معين يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذة على شكل شعاع ليزر ويبقى باقى الشعاع داخل الأنبوبة لتستمر عملية الانبعاث المستحث وتضخيم شعاع الفوتونات وانطلاق الليزر.

٩ ذرات النيون التى هبطت إلى مستوى الإثارة الأقل تفقد ما بقى بها من طاقة فى صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوى الأرضى ثم تعود لتثار بالتصادم مع ذرات هيليوم أخرى.

١٠ ذرات الهيليوم التى فقدت طاقة إثارتها بالتصادم بذرات النيون تثار بدورها مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربى داخل الأنبوبة وهكذا.

ملاحظات

* **غازى الهيليوم والنيون مناسبين لإنتاج ليزر غازى ،**

لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما.

* **يشترط فى مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس فى حين لا يتطلب ذلك فى مصادر الضوء العادية ،**

لأن أساس عمل الليزر تواجد أكبر عدد من الذرات فى مستوى إثارة شبه مستقر حتى يكون الانبعاث المستحث هو الانبعاث السائد أما فى مصادر الضوء العادية يكون الانبعاث التلقائى هو الانبعاث السائد.

تطبيقات على الليزر

* تستخدم أشعة الليزر فى مجالات متعددة منها :

١ التصوير المجسم (الهولوجرافى).

٢ مجال الطب.

٣ مجال الاتصالات.

٤ المجالات العسكرية.

٥ مجال الصناعة.

٦ مجال الحاسبات.

٧ أعمال المساحة لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.

٨ عروض الليزر والفنون.

٩ أبحاث الفضاء.

* وفيما يلى سنتناول بعضها بشىء من التفصيل :

١ التصوير المجسم (الهولوجرافى)

* تتكون صور الأجسام بتجميع الأشعة المنعكسة على الجسم المراد تصويره على اللوح الفوتوغرافى حيث يتم تسجيل المعلومات التى تحملها الأشعة :

فى الصورة المستوية	فى الصورة المجسمة
يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس **جزء فقط من المعلومات التى تحملها** الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم وهو **الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط**، والتى تتناسب طرديًا مع مربع السعة	يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس **كل المعلومات التى تحملها** الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم **مثل الاختلاف فى الشدة الضوئية والاختلاف فى طول مسار الأشعة** (والذى ينتج عن اختلاف تضاريس الجسم) أو بتعبير آخر الاختلاف فى طور موجات الضوء (فرق الطور $= \frac{2\pi}{\lambda} \times$ فرق المسار)

آلية التصوير المجسم

* اقترح العالم جابور فى عام ١٩٤٨م طريقة للحصول على ما فقد من معلومات أثناء تكوين الصورة المستوية واستخراجها من الأشعة التى تترك الجسم المضاء **ويتم ذلك كالآتى** :

١ تستخدم حزمة من الأشعة المتوازية لها نفس الطول الموجى للأشعة التى تترك الجسم المضاء (الجسم المراد تصويره) تسمى **الأشعة المرجعية**.

الأشعة المرجعية

أشعة متوازية تستخدم فى التصوير المجسم لها نفس الطول الموجى للأشعة المنعكسة عن الجسم.

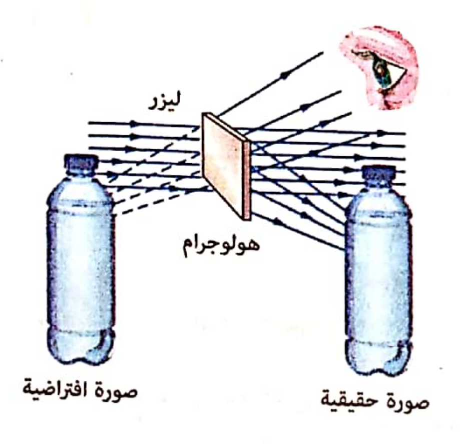


٢ تلتقى الأشعة المرجعية مع الأشعة التى تترك الجسم المضاء حاملة المعلومات عند اللوح الفوتوغرافى.

٣ يحدث تداخل ضوئى بين حزمتى الأشعة، وعند تحميض اللوح الفوتوغرافى تظهر هُدب التداخل وهى صورة مشفرة تسمى **الهولوجرام**.

تكوين الهولوجرام

٤ بإنارة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجى للأشعة المرجعية وبالنظر خلاله بالعين المجردة نرى صورة مماثلة للجسم تمامًا بأبعاده الثلاثة دون استخدام عدسات.



* **مما سبق يمكن تعريف الهولوجرام كالتالى :**

الهولوجرام

صورة مشفرة تتكون نتيجة تداخل الأشعة المرجعية مع الأشعة المنعكسة عن الجسم المراد تصويره وتظهر على شكل هُدب تداخل بعد تحميض اللوح الفوتوغرافى.

ملاحظات

* **لا يمكن تكوين صور بأبعادها الثلاثية إلا باستخدام أشعة الليزر،**

لأن شرط الحصول على الصور ثلاثية الأبعاد استخدام فوتونات مترابطة توضح اختلاف كل من شدة الإضاءة وفرق الطور لهُدب التداخل الناتجة عنها وهذا لا يتوافر إلا فى أشعة الليزر.

* **باستخدام أشعة الليزر يمكن تخزين عشرات الصور على الهولوجرام كما يمكن الحصول على صور مجسمة لأجسام متحركة.**

٢ مجال الطب

* تستخدم أشعة الليزر مع الألياف الضوئية فى التشخيص والعلاج بالمناظير.

* كما تستخدم أيضًا فى طب العيون :

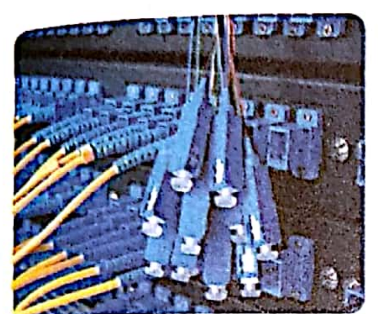
❶ **لعلاج انفصال شبكية العين :**

- عندما تنفصل بعض أجزاء من الشبكية عن الطبقة التى تحتها، يؤدى ذلك إلى فقد الأجزاء المصابة بالانفصال لوظيفتها، وإذا لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين لانفصال تام للشبكية وتفقد قدرتها على الإبصار.
- بتصويب حزمة رفيعة من الليزر إلى الأجزاء المصابة بالانفصال أو التمزق تعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر على إتمام عملية الالتحام فى أجزاء من الثانية.

❷ لعلاج حالات قصر النظر وطول النظر فيستغنى المريض عن النظارة.

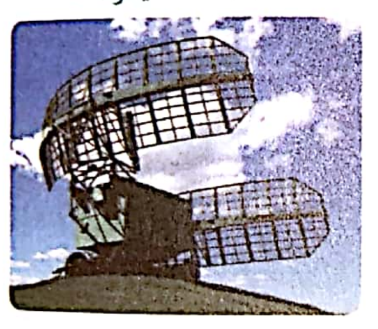
٣ مجال الاتصالات

* تستخدم أشعة الليزر والألياف الضوئية كبديل لكابلات التليفونات.


كابلات التليفونات

٤ المجالات العسكرية

* تستخدم أشعة الليزر فى توجيه الصواريخ بدقة عالية وفى القنابل الذكية ورادار الليزر، وفيما يعرف بحرب النجوم حيث تستخدم أشعة الليزر لتدمير الصواريخ والطائرات وهى فى الفضاء بعد إطلاقها مباشرةً.


رادار الليزر

٥ مجال الصناعة

* تولد بعض أنواع الليزر طاقة تكفى لصهر المعادن (فمثلًا يمكن تركيز ضوء الليزر لإسالة الحديد وتبخيره) ومنها ما يولد طاقة تكفى لثقب الماس.

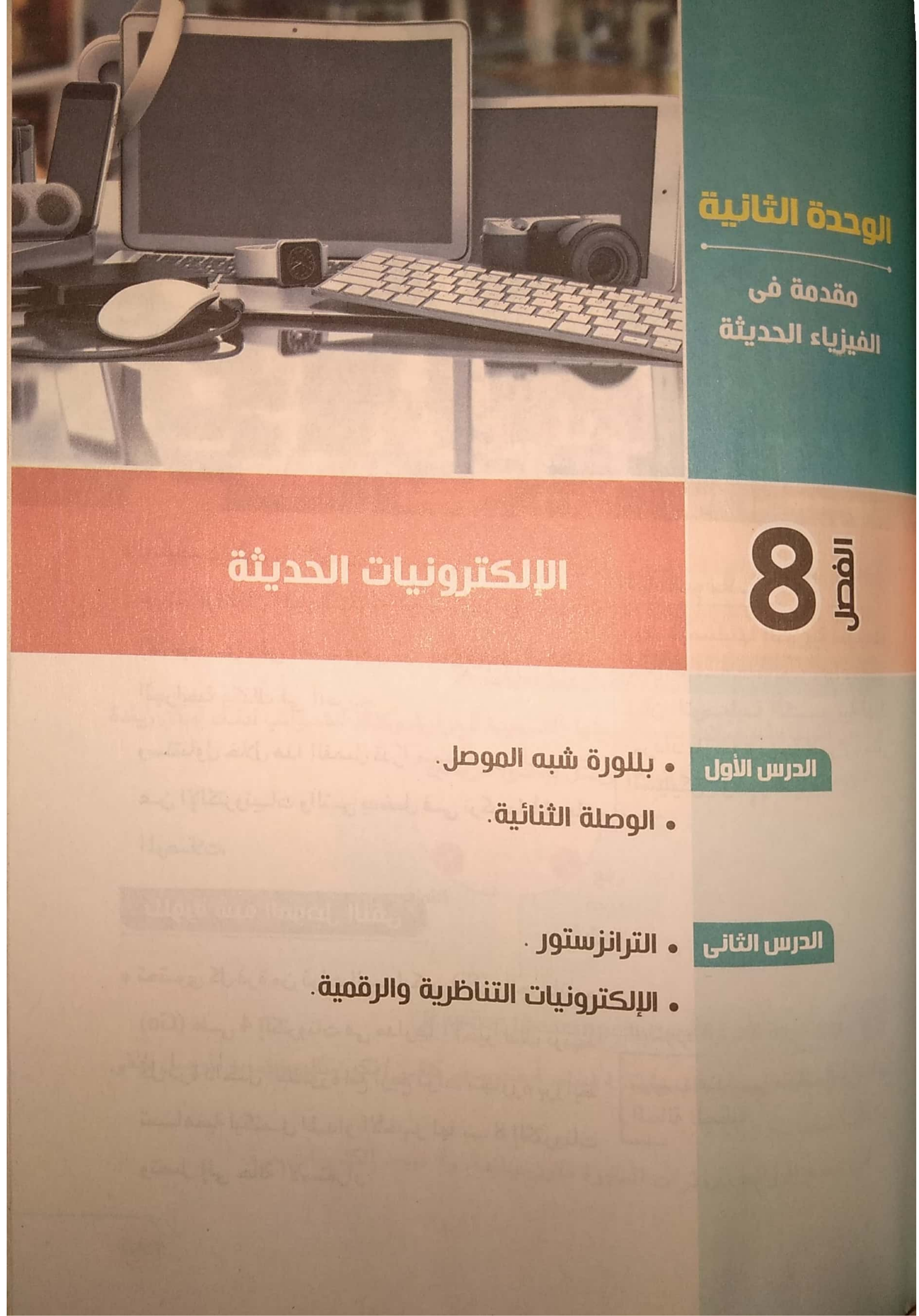
٦ مجال الحاسبات

* **يستخدم فى :**

❶ التسجيل على الأقراص المدمجة (CDs).

❷ طابعة الليزر حيث يستخدم شعاع الليزر فى نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى أسطوانة عليها مادة حساسة للضوء ثم يتم الطبع على الورق باستخدام الحبر.





الوحدة الثانية

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الفصل 8

الإلكترونيات الحديثة

الدرس الأول
- بللورة شبه الموصل.
- الوصلة الثنائية.

الدرس الثانى
- الترانزستور.
- الإلكترونيات التناظرية والرقمية.

الفصل 8 — الدرس الأول

• بللورة شبه الموصل
• الوصلة الثنائية



* أصبحت الأجهزة الإلكترونية تلعب دورًا أساسيًا فى حياتنا فى نقل المعلومات والترفيه والثقافة وفى مجال الطب سواء فى التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية وكذلك فى الحرب،

وسنتناول خلال هذا الفصل قدرًا مبسطًا من المعلومات عن الإلكترونيات والتى يدخل فى تركيبها أشباه الموصلات.

أشباه الموصلات

مواد توصيليتها الكهربية متوسطة بين الموصلات والعوازل، وتتميز بأن التوصيلية الكهربية لها تزداد بارتفاع درجة الحرارة مثل السيليكون والجرمانيوم.

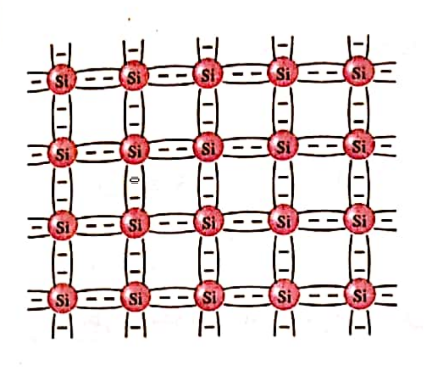
بللورة شبه الموصل النقى

* تحتوى كل ذرة من ذرات السيليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) على 4 إلكترونات فى مدارها الأخير لذلك ترتبط كل ذرة داخل البللورة مع أربع ذرات مجاورة بروابط تساهمية ليكتمل المدار الأخير لها بـ 8 إلكترونات وتصل إلى حالة الاستقرار.

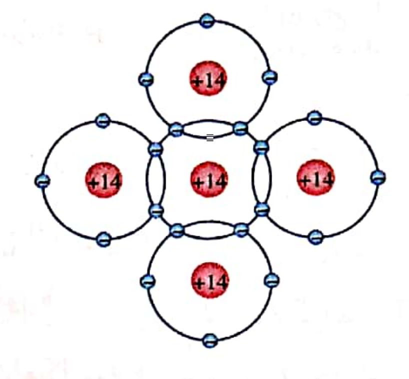
البللورة

ترتيب هندسى منتظم للذرات فى الحالة الصلبة.

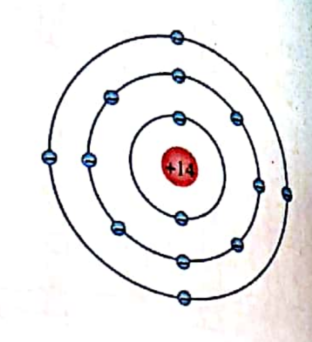




بللورة السيليكون



الرابطة التساهمية



ذرة سيليكون

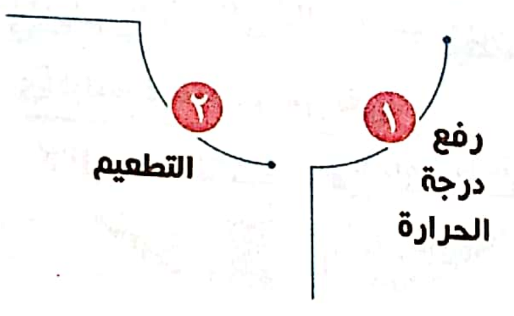
* **وهنا يمكن التمييز بين ثلاث حالات للإلكترونات :**

1. **إلكترونات المستويات الداخلية :** ترتبط بشدة بالنواة.
2. **إلكترونات التكافؤ :** تشارك فى عمل روابط تساهمية بين الذرات.
3. **الإلكترونات الحرة المنطلقة من كسر الروابط :** تتحرك حركة عشوائية محدودة بحيز أكبر هو البللورة.

* يمكن استخدام الطاقة الحرارية أو الضوئية فى كسر روابط البللورة، وتكون **الطاقة اللازمة لكسر الرابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (إعادة تكوين) الرابطة.**

طرق رفع كفاءة توصيل المادة شبه الموصلة

* **تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للحرارة، وكذلك للشوائب لذلك يمكن زيادة التوصيل الكهربى لبللورة شبه الموصل بإحدى طريقتين :**



١ رفع درجة الحرارة Raising the temperature

* فى درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون بللورة شبه الموصل النقى عازلة تمامًا،

لأن جميع الروابط بين ذرات البللورة تكون سليمة، ولا توجد إلكترونات حرة.

* عند ارتفاع درجة حرارة البللورة تزداد توصيليتها الكهربية،

نتيجة كسر بعض الروابط التساهمية فتنطلق منها بعض الإلكترونات وتصبح إلكترونات حرة تتحرك حركة عشوائية داخل البللورة.

* كل إلكترون يتحرر يترك مكانه فارغًا فى الرابطة المكسورة فيما يعرف بالفجوة وبالتالى يتساوى عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات.

الفجوة

تمثل شحنة موجبة تعبر عن مكان فارغ يتركه الإلكترون فى رابطة مكسورة فى بللورة شبه الموصل.

* لا يعتبر تحرر الإلكترون وتكون الفجوة تأين للذرة،

لأنه سريعًا ما تقتنص الفجوة إلكترون من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة فتعود الذرة متعادلة وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى ويكون اتجاه حركة الفجوات عكس اتجاه حركة الإلكترونات.

* عندما يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية يصبح عدد الإلكترونات والفجوات ثابت وهو ما يطلق عليه حالة الاتزان الديناميكى (الاتزان الحرارى).

* بزيادة درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة والفجوات فتزداد التوصيلية الكهربية للبللورة وعند درجة حرارة ما يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية وتكون البللورة قد وصلت لحالة الاتزان الديناميكى عند هذه الدرجة.

لذلك يمكن تعريف حالة الاتزان الديناميكى لبللورة شبه موصل نقى كالتالى :

الاتزان الديناميكى (الحرارى) لبللورة شبه موصل نقى

الحالة التى يكون عندها عدد الروابط المكسورة فى الثانية يساوى عدد الروابط المتكونة فى الثانية فى بللورة شبه الموصل ليبقى عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابتًا لكل درجة حرارة.

ملحوظة

* **لا يفضل تسخين شبه الموصل النقى لزيادة توصيليته للتيار الكهربى ،**

لأن زيادة درجة الحرارة بمقدار كبير يؤدى إلى تفكك الشبكة البللورية وكسر الروابط وبالتالى تتحطم البللورة.



* مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل النقى كالتالى :

شبه الموصل النقى

شبه موصل يكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة = تركيز الفجوات عند أى درجة حرارة.

* مما سبق يمكن تلخيص خصائص بللورة شبه الموصل النقى كالتالى :

١- إلكترونات **المستويات الداخلية** مرتبطة بقوة جذب كبيرة مع النواة أما إلكترونات **التكافؤ** فى الغلاف الخارجى تربط الذرات المتجاورة بروابط تساهمية يمكن كسر نسبة منها وتحرر إلكترونات وفجوات داخل البللورة.

٢- عند درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون الروابط بين الذرات سليمة ولا توجد إلكترونات حرة داخل البللورة فتنعدم التوصيلية الكهربية،
وبالتالى فإن المستوى الأخير لكل ذرة مكتمل بالإلكترونات عند الصفر المطلق.

٣- بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط وتتحرر بعض **الإلكترونات** وعندما يترك أى إلكترون مكانه يتواجد فى هذا المكان **فجوة** ولا يُعتبر ذلك تأين للذرة حيث تقتنص الذرة إلكترونًا وتعود إلى حالة التعادل وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى.

٤- بزيادة ارتفاع درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات فتزداد التوصيلية الكهربية.

٥- تتحرك الإلكترونات حركة عشوائية داخل البللورة وتملأ الفجوات التى تنشأ عن كسر الروابط.

٦- فى البللورة الواحدة تكون الطاقة اللازمة لكسر أى رابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (تكوُّن) الرابطة سواء كانت هذه الطاقة حرارية أو ضوئية.

٧- عندما تصل البللورة إلى حالة الاتزان الديناميكى يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية فيصبح عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابت لكل درجة حرارة.

* بعد أن تعرفنا على خصائص أشباه الموصلات يمكننا المقارنة بين الموصلات وأشباه الموصلات، كالتالى :

	الموصلات (المعادن)	أشباه الموصلات
بنية البللورة	تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التى تتحرك عشوائيًا فى الموصل، وتوجد قوة تجاذب بين الأيونات والإلكترونات	تتكون من ذرات تربطها روابط تساهمية
حاملات الشحنة	الإلكترونات	الإلكترونات والفجوات

أثر الحرارة على عدد حاملات الشحنة	لا يتغير عدد الإلكترونات الحرة بتغير درجة الحرارة	يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات بزيادة درجة الحرارة
أثر ارتفاع درجة الحرارة على المقاومة الكهربية	تزداد	تقل

٢ التطعيم Doping

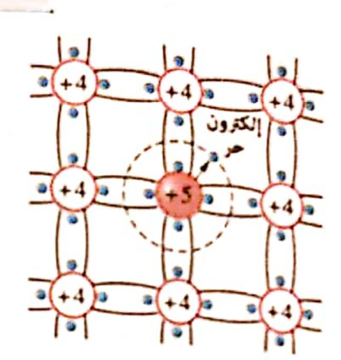
* يمكن زيادة التوصيلية الكهربية لشبه الموصل من خلال إضافة ذرات عناصر خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ تسمى الشوائب، ويطلق على هذه العملية التطعيم، وتفضل هذه الطريقة لزيادة التوصيلية الكهربية لشبه الموصل عن رفع درجة الحرارة.

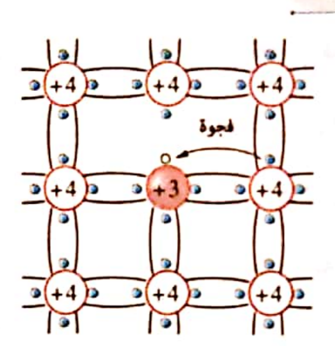
* وبالتالى يمكن الحصول على نوعين من أشباه الموصلات غير النقية، هما :

شبه موصل من النوع السالب (n-type)	شبه موصل من النوع الموجب (p-type)
نوع الذرة الشائبة	
شوائب معطية (مانحة) وهى عبارة عن ذرات من عنصر خماسى التكافؤ (تحتوى على 5 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الفوسفور (P) أو الأنتيمون (Sb) وهى تنتمى لعناصر المجموعة الخامسة بالجدول الدورى	شوائب مستقبلة (مكتسبة) وهى عبارة عن ذرات من عنصر ثلاثى التكافؤ (تحتوى على 3 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الألومنيوم (Al) أو البورون (B) وهى تنتمى لعناصر المجموعة الثالثة بالجدول الدورى
عمل الذرة الشائبة	
تشترك ذرة الشائبة بـ 4 إلكترونات فى تكوين أربع روابط مع ذرات السيليكون المجاورة لها، ويبقى إلكترون واحد يكون ضعيف الارتباط بالنواة فسرعان ما تفقده ويصبح إلكترون حر وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون موجب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى	تشترك ذرة الشائبة بـ 3 إلكترونات فى تكوين ثلاث روابط وبالتالى تصبح هناك رابطة تساهمية ناقصة ونتيجة لذلك تتكون فجوة ولكى تصل لحالة الاستقرار (التركيب الثمانى) تكتسب إلكترون من إحدى روابط السيليكون فتظهر فجوة فى رابطة السيليكون وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون سالب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى



شكل البللورة المطعمة





نوع حاملات الشحنة السائدة

الإلكترونات الحرة | الفجوات

ذرات الشائبة بعد التطعيم

تصبح أيونات موجبة تركيزها N_D^+ | تصبح أيونات سالبة تركيزها N_A^-

فى حالة الاتزان الحرارى

مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة

$$n = p + N_D^+$$

مجموع الشحنة السالبة = مجموع الشحنة الموجبة

$$p = n + N_A^-$$

(حيث : (n) تركيز الإلكترونات الحرة، (p) تركيز الفجوات، (N_D^+) تركيز أيونات الشائبة المعطية، (N_A^-) تركيز أيونات الشائبة المستقبلة)

أى أن

البللورة متعادلة الشحنة

العلاقة بين p , n

$n > p$ | $p > n$

* مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل من النوع السالب (n-type) وشبه الموصل من النوع الموجب (p-type) كالتالى :

شبه موصل من النوع السالب (n-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر خماسى التكافؤ، ويكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة أكبر من تركيز الفجوات.

شبه موصل من النوع الموجب (p-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر ثلاثى التكافؤ، ويكون فيه تركيز الفجوات أكبر من تركيز الإلكترونات الحرة.

ملحوظة

* **تظل بللورة شبه الموصل المطعمة متعادلة كهربيًا،**

لأن عند تطعيم بللورة شبه الموصل بشوائب ثلاثية أو خماسية التكافؤ فإن عدد الشحنات السالبة يساوى عدد الشحنات الموجبة دائمًا، حيث إن جميع الذرات سواء ذرات شبه الموصل أو ذرات الشوائب متعادلة.

قانون فعل الكتلة فى أشباه الموصلات

* إذا كان n_i هو تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بللورة السيليكون النقى، فإن : $np = n_i^2$

قانون فعل الكتلة

حاصل ضرب تركيز الإلكترونات الحرة × تركيز الفجوات = مقدار ثابت لكل درجة حرارة لا يتوقف على نوع الشائبة ويساوى مربع تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بللورة شبه الموصل النقى عند ثبوت درجة الحرارة.

* من قانون فعل الكتلة يتضح أنه فى حالة :

بللورة n-type	بللورة p-type
$\because n = p + N_D^+$	$\because p = n + N_A^-$
$\because p << N_D^+$	$\because n << N_A^-$
$\therefore n \simeq N_D^+$	$\therefore p \simeq N_A^-$
$\because np = n_i^2$	$\because np = n_i^2$
$\therefore p = \frac{n_i^2}{N_D^+}$	$\therefore n = \frac{n_i^2}{N_A^-}$



مثال

بللورة سيليكون نقية تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات بها $10^{10}\ cm^{-3}$ أضيف إليها ألومنيوم بتركيز $10^{12}\ cm^{-3}$:

(أ) **ما** نوع بللورة السيليكون الناتجة ؟

(ب) **احسب** تركيز الإلكترونات والفجوات فى هذه الحالة.

(جـ) **احسب** تركيز الأنتيمون اللازم إضافته إلى السيليكون حتى تعود البللورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى.

الحل

$N_D^+ = ?$	$p = ?$	$n = ?$	$N_A^- = 10^{12}\ cm^{-3}$	$n_i = 10^{10}\ cm^{-3}$

(أ) بللورة **p-type** لأن الشائبة المضافة ثلاثية التكافؤ.

(ب)
$$n = \frac{n_i^2}{N_A^-} = \frac{(10^{10})^2}{10^{12}} = 10^8\ cm^{-3}$$

$$p = N_A^- = 10^{12}\ cm^{-3}$$

(جـ) يضاف أنتيمون بنفس تركيز الألومنيوم لتعود البللورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى.

$$N_D^+ = 10^{12}\ cm^{-3}$$

المكونات أو النبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices

* تصنع أغلب النبائط الإلكترونية من أشباه الموصلات غير النقية والتى تتميز بحساسيتها لعوامل البيئة المحيطة مثل : الضوء، الحرارة، الضغط، التلوث بالإشعاع الذرى والكيميائى، لذلك تستخدم هذه النبائط كمحسات sensors (وسائل قياس) لهذه العوامل.

المكونات أو النبائط الإلكترونية

وحدات بناء الأنظمة الإلكترونية.

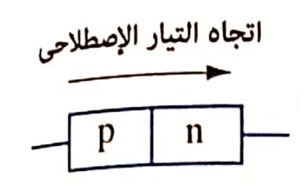
* أنواع النبائط (المكونات) الإلكترونية :

1. **مكونات بسيطة** : مثل المقاومة (R) وملف الحث (L) والمكثف الكهربى (C).
2. **مكونات أكثر تعقيدًا** : مثل الوصلة الثنائية (الدايود) والترانزستور.
3. **مكونات متخصصة** : مثل النبائط الكهروضوئية ونبائط التحكم فى شدة التيار.

الوصلة الثنائية (الدايود) pn Junction

التركيب :

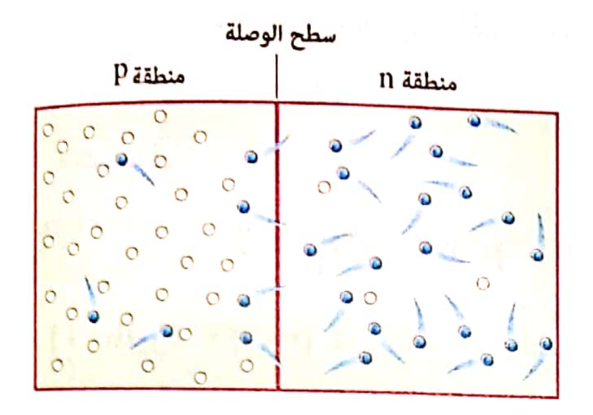
تتكون من بللورتين ملتصقتين إحداهما من النوع p والأخرى من النوع n



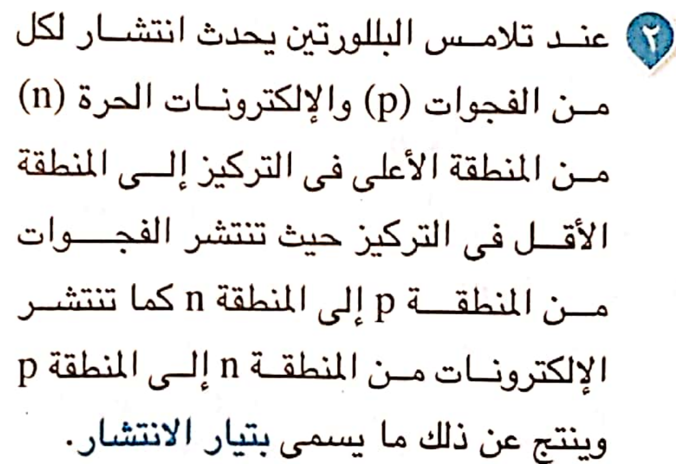
الرمز فى الدائرة الكهربية :

(كاثود (n) – ▷| + آنود (p))

شرح العمل :



(١) فى البللورة من النوع p يكون تركيز الفجوات (p) أكبر بكثير من تركيز الإلكترونات (n) أما فى البللورة من النوع n يكون تركيز الإلكترونات (n) أكبر بكثير من تركيز الفجوات (p).

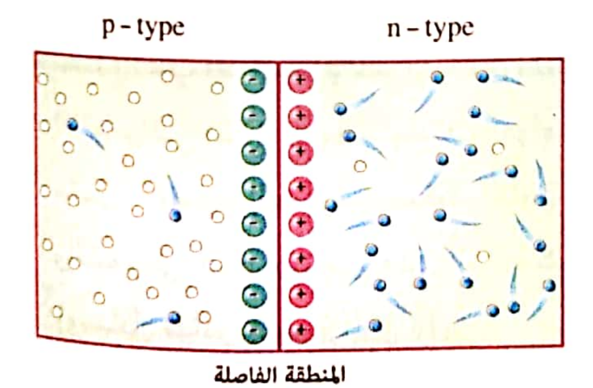


(٢) عند تلامس البللورتين يحدث انتشار لكل من الفجوات (p) والإلكترونات الحرة (n) من المنطقة الأعلى فى التركيز إلى المنطقة الأقل فى التركيز حيث تنتشر الفجوات من المنطقة p إلى المنطقة n كما تنتشر الإلكترونات من المنطقة n إلى المنطقة p وينتج عن ذلك ما يسمى **بتيار الانتشار**.

تيار الانتشار

التيار الناتج عن انتشار الفجوات من منطقة البللورة p إلى منطقة البللورة n وانتشار الإلكترونات من منطقة البللورة n إلى منطقة البللورة p عند تلامس البللورتين.

(٣) هجرة الإلكترونات من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءًا من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات، وكذلك فإن هجرة فجوات من منطقة p-type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات، فيتولد على جانبى موضع تلامس البللورتين منطقتين خاليتين من الفجوات والإلكترونات ويتواجد بهما أيونات موجبة جهة n وأيونات سالبة جهة p وتسمى المنطقتين على جانبى موضع التلامس **بالمنطقة القاحلة**.



المنطقة القاحلة (الفاصلة)

منطقة خالية من حاملات الشحنة توجد على جانبى موضع تلامس البللورة n والبللورة p فى الوصلة الثنائية.

٤ عندما تفقد البللورة n بعض إلكتروناتها فإنها تكتسب جهدًا موجبًا، كما تكتسب البللورة p جهدًا سالبًا بسبب انتقال الإلكترونات إليها، ويتولد مجال كهربى يكون اتجاهه من البللورة n (الجهد الموجب) إلى البللورة p (الجهد السالب) يتسبب فى تولد تيار يسمى **بتيار الانسياب** ويكون عكس اتجاه تيار الانتشار.

تيار الانسياب

التيار الناتج عن المجال الكهربى الداخلى بين الأيونات الموجبة جهة n والأيونات السالبة جهة p على جانبى موضع التلامس وهو ضد تيار الانتشار.

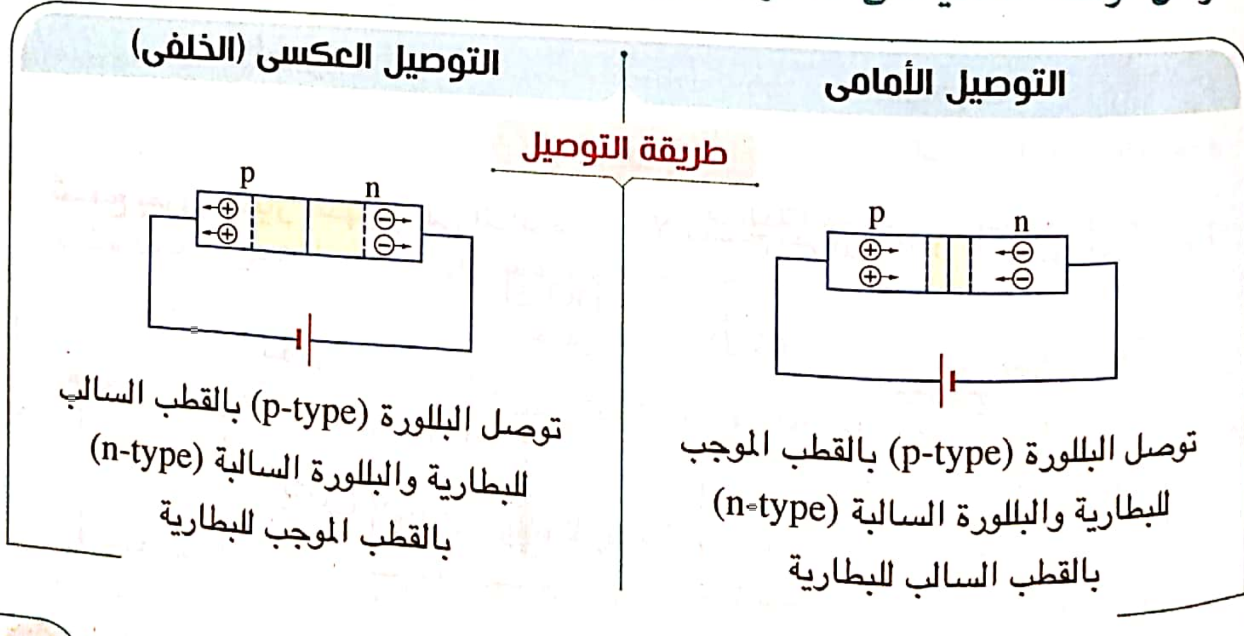
٥ باستمرار انتقال الإلكترونات والفجوات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل يزداد فرق الجهد بين البللورتين حتى يصل لقيمة تمنع انتقال مزيد من الإلكترونات من n إلى p ويصبح تيار الانتشار = تيار الانسياب، ويطلق على فرق الجهد فى هذه الحالة **الجهد الحاجز للوصلة الثنائية**، ويعتمد على نوع مادة شبه الموصل المستخدمة ودرجة حرارتها ونسبة التطعيم.

الجهد الحاجز للوصلة الثنائية

أقل فرق جهد داخلى على جانبى موضع تلامس البللورتين n ، p يكفى لمنع انتشار مزيد من الفجوات والإلكترونات الحرة إلى المنطقة الأقل تركيز لهما.

توصيل الوصلة الثنائية

* **توصل الوصلة الثنائية فى الدائرة الكهربية بطريقتين :**



	التوصيل الأمامى	التوصيل العكسى (الخلفى)
طريقة التوصيل	توصل البللورة (p-type) بالقطب الموجب للبطارية والبللورة السالبة (n-type) بالقطب السالب للبطارية	توصل البللورة (p-type) بالقطب السالب للبطارية والبللورة السالبة (n-type) بالقطب الموجب للبطارية

سُمك المنطقة الفاصلة

يقل	يزداد
(حيث تتنافر الفجوات والإلكترونات مع قطبى البطارية وتقترب من السطح الفاصل)	(حيث تتجاذب الفجوات والإلكترونات مع قطبى البطارية وتبتعد عن السطح الفاصل)

أثر فرق الجهد الخارجى على الوصلة

يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن البطارية) عكس اتجاه المجال الداخلى فى المنطقة الفاصلة فيضعفه	يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن البطارية) فى نفس اتجاه المجال الداخلى فى المنطقة الفاصلة فيقويه

جهد الوصلة الثنائية

يقل عن الجهد الحاجز	يزداد عن الجهد الحاجز

مقاومة الوصلة (R)

صغيرة	كبيرة

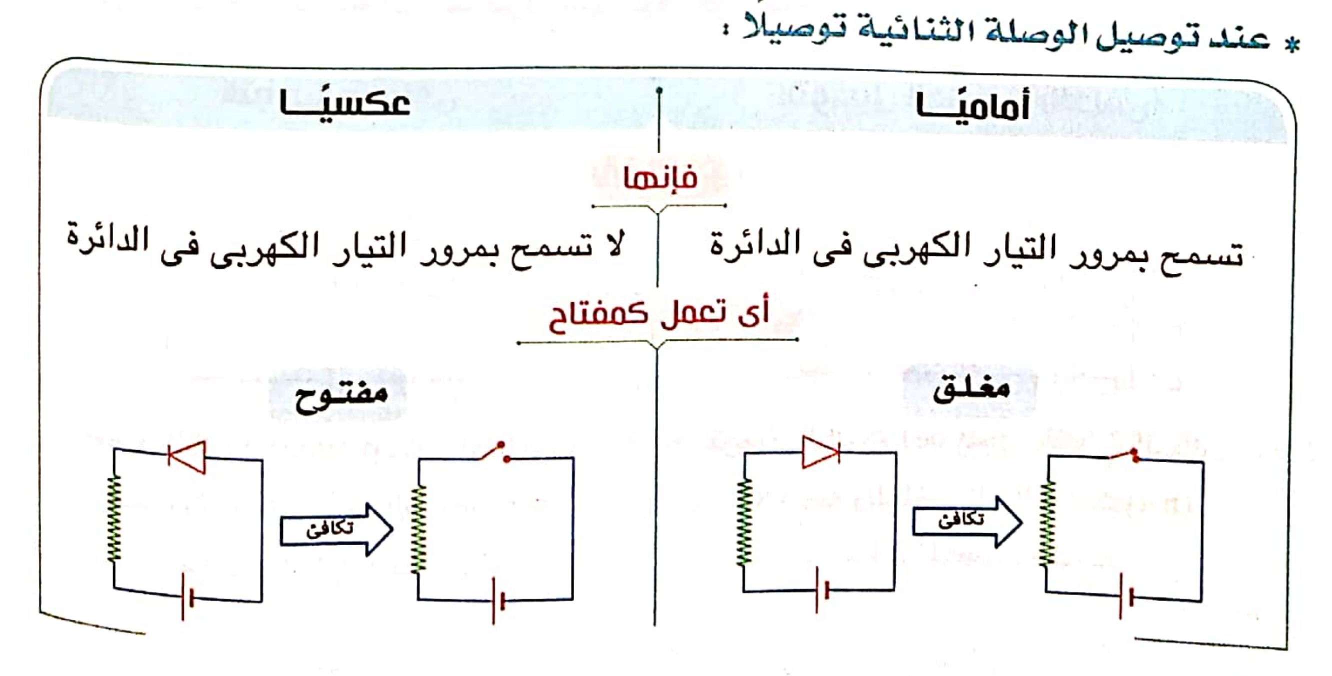
شدة التيار المار (I)

كبيرة إذا كان الجهد الخارجى أكبر من الجهد الحاجز	ضعيفة جدًا تكاد تكون منعدمة

استخدام الوصلة الثنائية

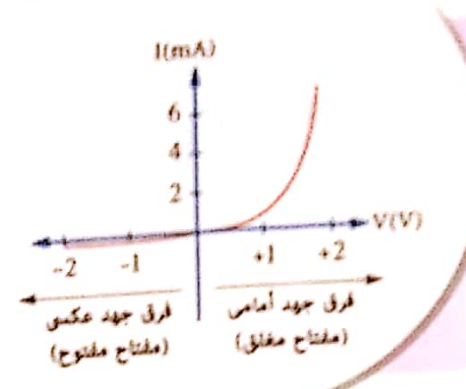
١ تستخدم كمفتاح

* عند توصيل الوصلة الثنائية توصيلًا :

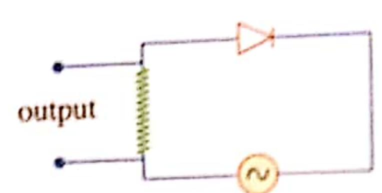




- التمثيل البيانى للعلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار فى الوصلة الثنائية

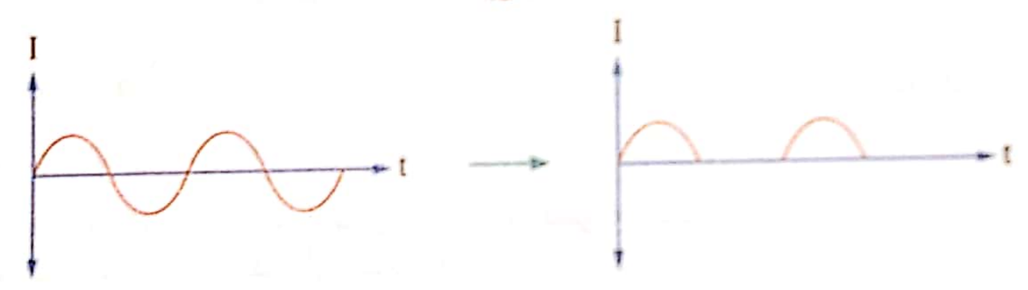


٢ تقويم التيار المتردد



- تستخدم الوصلة الثنائية فى تقويم التيار المتردد تقويم نصف موجى.

لأن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار فى نصف موجة الجهد المتردد (فى حالة التوصيل الأمامى) ولا تسمح بمروره فى النصف الأخر (فى حالة التوصيل العكسى) وبذلك يكون الجهد الناتج موحد الاتجاه (مقوم تقويم نصف موجى).



- يستخدم التيار موحد الاتجاه فى شحن بطارية السيارة وشاحن التليفون المحمول.
- يمكن تقويم التيار المتردد (AC) وتحويله إلى تيار مستمر (DC) باستخدام عدة وصلات ثنائية.

ملحوظة

- يمكن استخدام الأوميتر :

(١) للتأكد من سلامة الوصلة الثنائية .

حيث تكون مقاومتها صغيرة جدًا فى اتجاه وكبيرة جدًا فى الاتجاه العكسى إذا كانت سليمة.

(٢) للتمييز بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية :

- فى حالة الوصلة الثنائية : قراءة الأوميتر كبيرة جدًا عند مرور التيار فى اتجاه معين وصغيرة جدًا فى الاتجاه العكسى.
- فى حالة المقاومة الأومية : قراءة الأوميتر لا تتغير إذا انعكس اتجاه التيار.

* مما سبق يمكن المقارنة بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية كالتالى :

	الوصلة الثنائية	المقاومة الأومية (العادية)
التكوين	بللورتين n ، p متلامستين	ملف من سلك لمادة ذات مقاومة نوعية مناسبة مثل التنجستين أو النيكروم
حاملات الشحنة	الإلكترونات الحرة والفجوات	الإلكترونات الحرة
اتجاه التيار المار	يمر التيار فى اتجاه واحد ولا يمر فى الاتجاه العكسى	يمر التيار خلالها فى الاتجاهين
أثر ارتفاع درجة الحرارة	تقل المقاومة الكهربية وتزداد التوصيلية الكهربية	تزداد المقاومة الكهربية وتقل التوصيلية الكهربية
التوصيل بأوميتر	تكون قراءته كبيرة جدًا عند مرور التيار فى اتجاه معين وصغيرة جدًا فى الاتجاه المعاكس	لا تتغير قراءته عند عكس اتجاه التيار

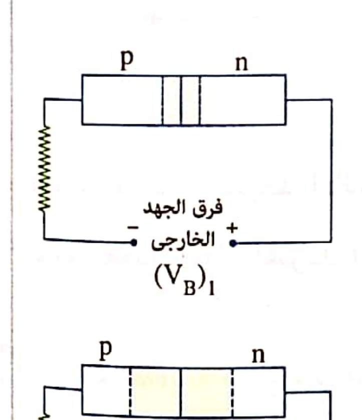
معلومــة إثرائية

التوليف الإلكترونى Electronic Tuning

* لضبط جهاز الراديو أو التليفزيون على محطة معينة نحتاج ضبط قيمة سعة مكثف أو معامل الحث الذاتى لملف حث لتعطى الدائرة تردد يساوى تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين.

* فى الأجهزة الحديثة يتم تغيير سعة المكثف باستخدام خواص الدايود فى حالة وجود جهد عكسى، إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة كلما زاد الجهد العكسى ولأن زيادة هذا العرض تعنى زيادة الشحنات أى الأيونات فيشبه هذا التغير فى الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفى المكثف.

أى أن : الدايود فى الاتجاه العكسى يكافئ مكثفًا يمكن تغيير سعته حسب فرق الجهد العكسى عليه وهذا ما يطلق عليه **التوليف الإلكترونى**.

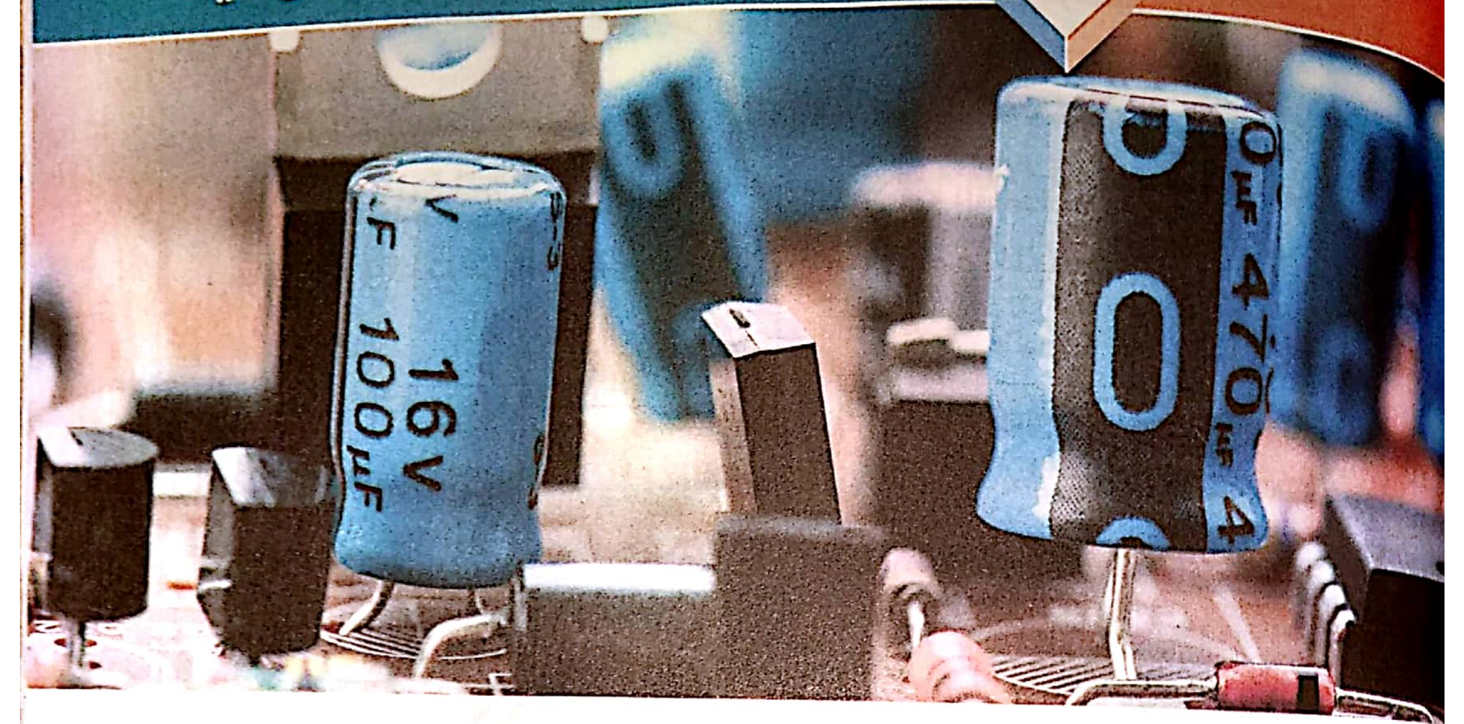


(حيث: $(V_B)_1 < (V_B)_2$)



الفصل 8 — الدرس الثانى

• الترانزستور
• الإلكترونيات التناظرية والرقمية



الترانزستور Transistor

التركيب :

يتكون من ثلاث مناطق متلاصقة من مادة شبه موصلة مطعمة (غير نقية)، هى :

- المنطقة الأولى تسمى **الباعث (E)** :

عبارة عن بللورة شبه موصل متوسطة الحجم بها نسبة عالية من الشوائب.

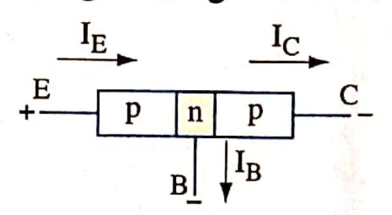
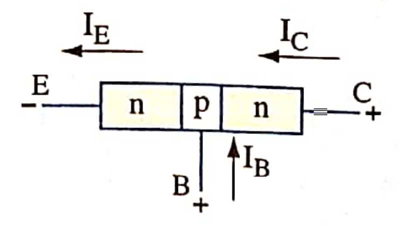
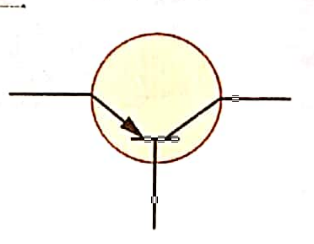
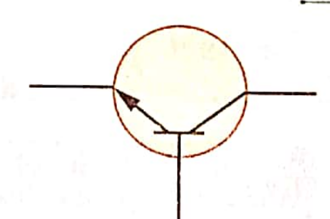
- المنطقة الوسطى تسمى **القاعدة (B)** :

عبارة عن بللورة شبه موصل عرضها صغير للغاية (رقيقة جدًا) بها نسبة قليلة من الشوائب.

- المنطقة الأخيرة تسمى **المجمع (C)** :

عبارة عن بللورة شبه موصل كبيرة الحجم نسبيًا بها نسبة شوائب أقل من الباعث.

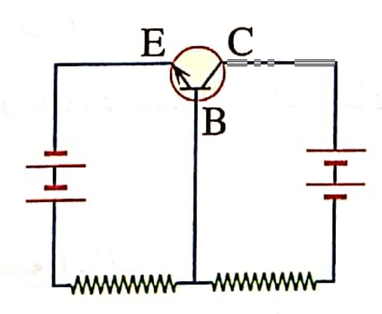
◀ **الأنواع : يوجد نوعان أساسيان من الترانزستور، هما :**

① ترانزستور (pnp)	② ترانزستور (npn)
التركيب	
تكون فيه القاعدة من النوع السالب (n)، بينما الباعث والمجمع من النوع الموجب (p)	تكون فيه القاعدة من النوع الموجب (p)، بينما الباعث والمجمع من النوع السالب (n)
	
الرمز فى الدائرة الكهربية	
	

* يوجد طريقتان لتوصيل الترانزستور فى الدائرة الكهربية :

① توصيل الترانزستور (npn) والقاعدة مشتركة

◀ **شكل الدائرة :**



◀ **طريقة التوصيل فى الدائرة الكهربية :**

يوصـل الباعـث (E) مع القاعدة (B) توصيلًا أماميًا، ويوصـل المجمع (C) مع القاعدة (B) توصيلًا عكسيًا.



◀ شرح العمل :

- تنطلق الإلكترونات من الباعث (n-type) إلى القاعدة (p-type) حيث تنتشر فيها بعض الوقت إلى أن يقتنصها المجمع (n-type).
- أثناء انتشار الإلكترونات داخل القاعدة (p-type) تستهلك نسبة صغيرة جدًا منها فى ملء الفجوات لتحدث عملية الالتئام نظرًا لأن عرض القاعدة صغير للغاية وبها نسبة قليلة من الشوائب وبالتالى يكون دائمًا تيار المجمع (I_C) أقل من تيار الباعث (I_E)، حيث :

$$I_E = I_C + I_B$$

◀ الاستخدام :

يستخدم الترانزستور عند توصيله فى دائرة القاعدة المشتركة فى تكبير القدرة الكهربية ولا يمكن استخدامه لتكبير التيار الكهربى نظرًا لأن تيار المجمع يكون أقل من تيار الباعث.

◀ نسبة التوزيع (α_e):

- يطلق على النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث نسبة التوزيع وتعطى من العلاقة :

$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

- تقترب قيمة α_e من الواحد الصحيح.

لأن $I_C \approx I_E$ حيث إن قيمة I_B صغيرة جدًا فتصبح قيمة α_e قريبة من الواحد الصحيح،

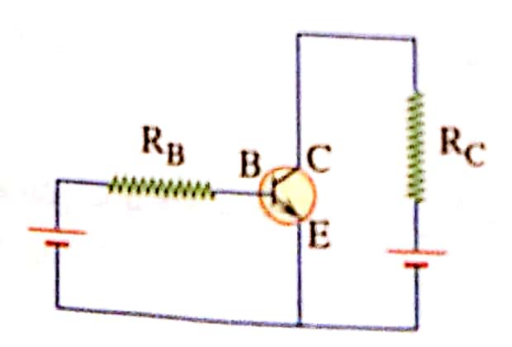
وبالتالى يمكن تعريف نسبة التوزيع كما يلى :

نسبة (ثابت) التوزيع (α_e)

نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث عند ثبوت فرق الجهد بين القاعدة والمجمع.

٢ توصيل الترانزستور (npn) والباعث مشترك

◀ شكل الدائرة :



طريقة التوصيل فى الدائرة الكهربية :

– يوصل الباعث (E) مع القاعدة (B) توصيلًا أماميًا.

– يوصل الباعث (E) مع المجمع (C) بحيث يوصل الباعث بالقطب السالب والمجمع بالقطب الموجب.

شرح العمل :

– تتنافر إلكترونات الباعث (n-type) مع القطب السالب للبطاريتين ليتجمع تيارى الإلكترونات عند الباعث ويتحرك تجاه المجمع.

– إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة فى تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مكبرًا فى تيار المجمع.

نسبة التكبير (β_e) :

يطلق على النسبة بين تيار المجمع إلى تيار القاعدة نسبة التكبير وتعطى من العلاقة :

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

وبالتالى يمكن تعريف نسبة التكبير كالتالى :

نسبة التكبير (β_e)

نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة عند ثبوت فرق الجهد بين الباعث والمجمع.

حساب نسبة التكبير بدلالة ثابت التوزيع :

$$\because \beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\because I_C = \alpha_e I_E \qquad \because I_B = I_E - I_C \qquad \therefore I_B = I_E - \alpha_e I_E$$

$$\therefore \beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{I_E - \alpha_e I_E} = \frac{\alpha_e I_E}{I_E (1 - \alpha_e)}$$

$$\therefore \beta_e = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e}$$

ملحوظة

* يمكن حساب نسبة التوزيع بدلالة نسبة التكبير من العلاقة : $\alpha_e = \frac{\beta_e}{1 + \beta_e}$

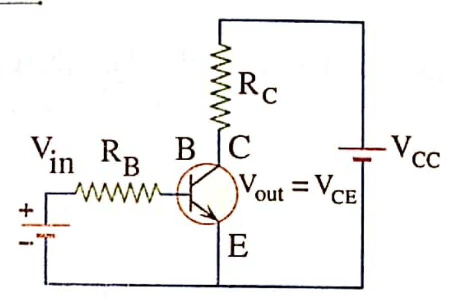
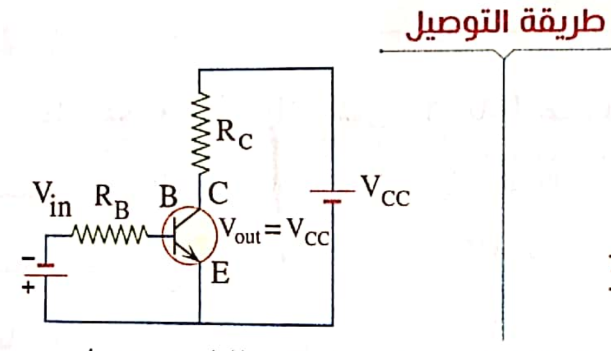


الاستخدام :

١ يستخدم كمكبر :

تعتمد فكرة عمل الترانزستور فى دائرة الباعث المشترك كمكبر على أنه إذا وضعت إشارة كهربيـة صغيـرة فى تيار القاعـدة الصغير يظهر تأثيرها مكبرًا فى تيـار المجمع وهذا ما يسمى فعل الترانزستور.

٢ يستخدم كمفتاح :

الترانزستور فى حالة on (مفتاح مغلق)	الترانزستور فى حالة off (مفتاح مفتوح)
طريقة التوصيل	
	

يتم توصيل الترانزستور فى الدائرة الكهربية بحيث يكون الباعث مشترك

وبذلك يكون : $V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$

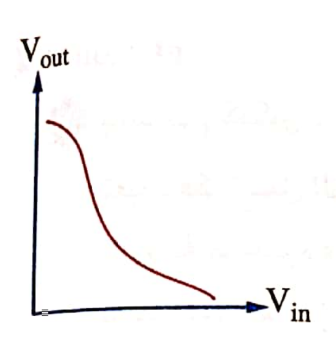
حيث : (V_{CC}) جهد البطارية، (V_{CE}) فرق الجهد بين المجمع والباعث، (I_C) تيار المجمع، (R_C) مقاومة الدائرة

الأساس العلمى

إذا اعتبرنا أن القاعدة هى الدخل (input) والمجمع هو الخرج (output)، فإنه

الترانزستور فى حالة on	الترانزستور فى حالة off
عند توصيل القاعدة (B) بجهد موجب أو كبير (V_{in}) يمر تيار (I_C) كبير فى دائرة المجمع فتصبح قيمة $I_C R_C$ كبيرة ويحدث نقص لقيمة V_{CE} أى يكون الخرج صغيرًا	عند توصيل القاعدة (B) بجهد سالب أو صغير (V_{in}) تقل قيمة I_C فتقل قيمة $I_C R_C$ فيحدث زيادة لقيمة V_{CE} ليقترب من قيمة V_{CC} أى يكون الخرج كبيرًا
أى أن	
الترانزستور يسمح بمرور تيار القاعدة ويعمل كمفتاح مغلق لأن ($V_{in} > V_{out}$)	الترانزستور لا يسمح بمرور تيار القاعدة ويعمل كمفتاح مفتوح لأن ($V_{out} > V_{in}$)





* مما سبق نجد أن الترانزستور يعمل كعاكس أى أنه عندما يكون جهد الدخل (V_{in}) للترانزستور كبيرًا يصبح جهد الخرج (V_{out}) صغيرًا والعكس.



ملحوظة

* يمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام الأوميتر .

مثال ١

إذا كان تيار المجمع فى الترانزستور 100 mA عندما كان تيار القاعدة 1 mA، **احسب :**

(أ) نسبة التكبير (β_e).

(ب) نسبة التوزيع (α_e).

(جـ) تيار الباعث (I_E).

الحل

$I_C = 100$ mA | $I_B = 1$ mA | $\beta_e = ?$ | $\alpha_e = ?$ | $I_E = ?$

(أ) $$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{100}{1} = 100$$

(ب) $$\alpha_e = \frac{\beta_e}{1+\beta_e} = \frac{100}{1+100} = 0.99$$

(جـ) $$I_E = I_C + I_B = 100 + 1 = 101 \text{ mA}$$

حل آخر:

$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha_e} = \frac{100}{0.99} = 101 \text{ mA}$$



مثال (٢)

احسب قيمة تيار المجمع (I_C) فى دائرة الترانزستور كمفتاح فى حالة التوصيل on عندما يكون جهد المصدر 1.5 V وفرق الجهد بين المجمع والباعث 0.5 V وقيمة المقاومة المتصلة بالمجمع 500 Ω

الحل

$I_C = ?$ | $R_C = 500\ \Omega$ | $V_{CE} = 0.5\ V$ | $V_{CC} = 1.5\ V$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

$$1.5 = 0.5 + (I_C \times 500)$$

$$I_C = 0.002\ A$$

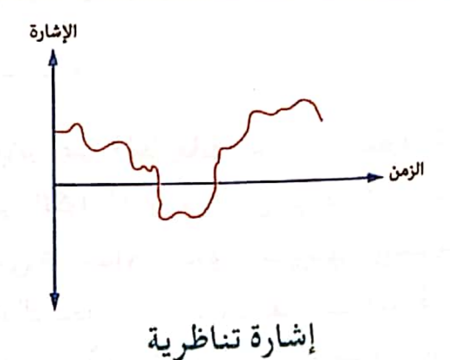
الإلكترونيات التناظرية والرقمية Analog and Digital Electronics

* توجد طريقتان للتعامل مع الجهد الداخل والخارج من الدائرة الكهربية، هما :

الإلكترونيات التناظرية

الإلكترونيات التناظرية

إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هى حيث تحولها إلى إشارات كهربية متصلة.

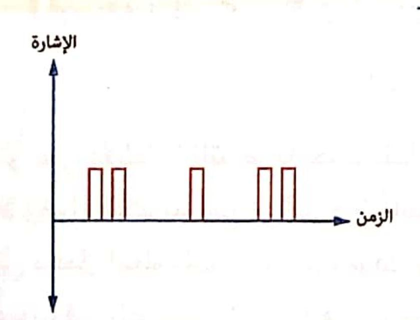


إشارة تناظرية

الإلكترونيات الرقمية

الإلكترونيات الرقمية

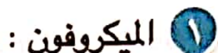
إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية بعد تحويلها إلى شفرة غير متصلة أساسها قيمتان فقط هما (0 ، 1).



إشارة رقمية

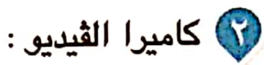
- عند الإرسال : يتم تحويل كل الإشارات الكهربية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق محول تناظرى رقمى.
- عند الاستقبال : يتم تحويل الإشارات الرقمية إلى إشارات تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى.

تطبيقات

١ **الميكروفون :**

يقوم بتحويل الصوت إلى إشارة كهربية.



٢ **كاميرا الفيديو :**

تقوم بتحويل الصورة إلى إشارة كهربية.

٣ **التليفزيون :**

- عند الإرسال : يتم تحويل الصوت والصورة إلى إشارات كهربية ثم إلى إشارات كهرومغناطيسية.
- عند الاستقبال : يتم تحويل الإشارات الكهرومغناطيسية إلى إشارات كهربية في الهوائي «الإيريال» ثم يعمل جهاز الاستقبال على تحويلها إلى صوت وصورة.

١ التليفون المحمول.

٢ القنوات الفضائية الرقمية.

٣ أقراص الليزر المدمجة (CDs).

٤ **أجهزة الكمبيوتر :**

- كل ما يدخل للكمبيوتر من حروف أو أرقام يتحول إلى شفرات ثنائية.
- تتجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels ثم تحول أيضًا إلى شفرة ثنائية (0 , 1).
- تتم جميع العمليات الحسابية على أساس الجبر الثنائى.
- يتم تخزين المعلومات فى الذاكرة المؤقتة (RAM) أو الذاكرة المستديمة (Hard Disk) على شكل مغنطة فى اتجاه معين مما يعنى 0 أو مغنطة فى الاتجاه المضاد مما يعنى 1

التشويش (الضوضاء الكهربية)

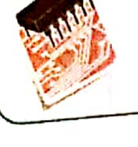
هى إشارات كهربية غير منتظمة مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات والتى تسبب تيارًا عشوائيًا

يؤثر على الإشارة التناظرية حيث تتداخل الضوضاء الكهربية مع الإشارة التناظرية التى تحمل المعلومات وتشوشها لذلك نجد عيوب فى الصوت والصورة فى أجهزة الاستقبال التناظرية

لا يؤثر على المعلومات حيث إن المعلومة تكمن فى الكود 0 أو 1 وليس فى قيمة الإشارة التى قد تتداخل معها الضوضاء وتشوشها لذلك نجد أن الصورة نقية عند استخدام أجهزة الاستقبال الرقمية

لذلك

يفضل استخدام الإلكترونيات الرقمية عن الإلكترونيات التناظرية فى الأجهزة الإلكترونية .



التحويل بين العدد العشرى والعدد الثنائى

١ تحويل العدد التناظرى (العشرى) إلى كود رقمى (عدد ثنائى)

* لتحويل العدد التناظرى (العشرى) إلى كود رقمى (عدد ثنائى) :

١ اقسم العدد العشرى على 2، فإذا :
- كان للعدد الصحيح ناتج باقى ضع 1 فى خانة الباقى.
- لم يكن للعدد الصحيح ناتج باقى ضع 0 فى خانة الباقى.

٢ اقسم الناتج على 2 وهكذا حتى يصبح الناتج أقل من 1 فنضع :
- 0 فى خانة الناتج.
- 1 فى خانة الباقى.

٣ اكتب الأرقام الموجودة فى خانة الباقى بالترتيب داخل القوسين : $(\ldots)_2$

مثال

أوجد الكود الرقمى للعدد التناظرى 19

الحل

$\frac{\text{العدد التناظرى}}{2}$	$\frac{19}{2}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{2}$
الناتج	9	4	2	1	0
الباقى	1	1	0	0	1

الكود الرقمى هو : $(10011)_2$

٢ تحويل الكود الرقمى (العدد الثنائى) إلى عدد تناظرى (عشرى)

* لتحويل الكود الرقمى (العدد الثنائى) إلى عدد تناظرى (عشرى) :

١ اكتب الكود (المكون من 0 ، 1) كل رقم على حدة بالترتيب وأسفل كل رقم بداية من اليمين نكتب الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...) على الترتيب.

٢ اكتب حاصل ضرب الكود (0 ، 1) فى الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...).

٣ اجمع الأعداد الناتجة لتحصل على العدد التناظرى المطلوب.

مثال

أوجد العدد التناظرى للكود الرقمى $(10001)_2$.

الحل

الكود	1	0	0	0	1	
×	×	×	×	×	×	
النظام الثنائى	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	
الناتج	1 +	0 +	0 +	0 +	16	= 17

مجموع النواتج = **17** وهو العدد التناظرى المطلوب.

* تعتبر الإلكترونيات الرقمية هى أساس العديد من الأجهزة والمكونات الإلكترونية مثل البوابات المنطقية، وفيما يلى سنتناول شرحها بشىء من التفصيل.

البوابات المنطقية Logic Gates

* تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية.

البوابات المنطقية

أجزاء من الدوائر الإلكترونية للأجهزة الحديثة تقوم بالعمليات المنطقية على الإشارات الرقمية (المبنية على الجبر الثنائى).

* يوجد عدة أنواع للبوابات المنطقية، منها :

	بوابة العاكس (NOT)	بوابة التوافق (AND)	بوابة الاختيار (OR)
عدد المداخل والمخارج	مدخل واحد ومخرج واحد	مدخلان أو أكثر ومخرج واحد	مدخلان أو أكثر ومخرج واحد
جدول التحقق	انظر الجدول (NOT)	انظر الجدول (AND)	انظر الجدول (OR)

جدول التحقق لبوابة العاكس (NOT):

input	output
0	1
1	0

جدول التحقق لبوابة التوافق (AND):

input A	input B	output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

جدول التحقق لبوابة الاختيار (OR):

input A	input B	output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



العملية المنطقية التي تقوم بها	العكس (الخرج يكون عكس الدخل)	التوافق (الخرج لا يكون (1) إلا إذا اتفق الدخلان على (1))	الاختيار (الخرج يكون (1) إذا توفر (1) على أحد الدخلين)
الرمز	input NOT output	A input, B input, AND, output	A input, B input, OR, output
الدائرة الكهربية المكافئة	مصباح * مفتاح موصل على التوازى فى الدائرة. * عند فتح المفتاح يضىء المصباح وعند غلقه لا يضىء.	A B مصباح * مفتاحان أو أكثر متصلة على التوالى فى الدائرة. * لا يضىء المصباح إلا إذا أغلقت كل المفاتيح معًا.	A B مصباح * مفتاحان أو أكثر متصلة على التوازى مع بعضهما فى الدائرة. * يضىء المصباح إذا أغلق أى من المفاتيح أو كلها.

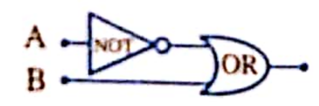
ملحوظة

* يمكن حساب عدد الاحتمالات (N) فى جدول التحقق من العلاقة : $N = 2^n$

حيث : (n) هى عدد المدخلات.

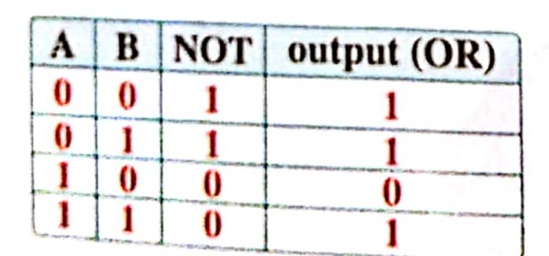
مثال (١)

استنتج جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :



الحل

حدد أولًا خرج دائرة NOT ليكون أحد دخلى دائرة OR ثم أوجد خرج دائرة OR



A	B	NOT	output (OR)
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	1

مثال ٢

أكمل جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :

A	B	output
0	0	....
0	1	....
1	0	....
1	1	....

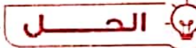
الحل

نحدد أولًا خرجي الدائرتين AND ، NOT
ليكونا دخل لدائرة OR
ونوجد خرج OR

A	B	AND	NOT	output (OR)
0	0	0	1	1
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	1	0	1

مثال ٣

اكتب جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :



A	B	C	AND	output (OR)
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1



الفهرس

تصريح وزارة التربية والتعليم ١٠٤ - ١٤ - ١ - ٢٥٢

الآن بجميع المكتبات
كتب الامتحان في

- الكيمياء • الأحياء
- التاريخ • الجغرافيا
- اللغة العربية
- الچيولوچيا و العلوم البيئية
- علم النفس و الاجتماع
- الفلسفة وقضايا العصر

كتب الامتحان
لا يخرج عنها أى امتحان

الجزء الخاص بالشرح
يُصرف مجانًا مع الكتاب





الدولية للطبع والنشر والتوزيع
الفجالة - القاهرة
تليفون: ٢٥٨٨٥٥٨٥ - ٢٥٩٠٤٣٢٣ - ٠٢/٢٥٨٨٨٨٨٦
www.alemte7anbooks.com
Email: info@alemte7anbooks.com

/alemte7anseries